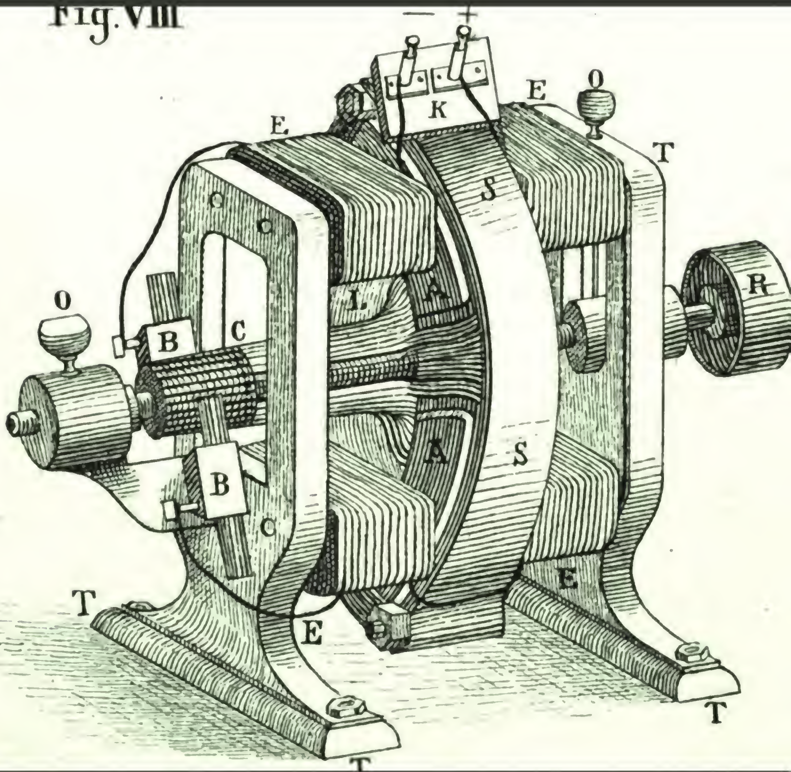


Gasmotor und lichtmaschine

Karl Jansen (of Düsseldorf.)

Gasmotor und Lichtmaschine

mit Bezug

auf die neuesten Erwerbungen des physikalischen Kabinets

der

Realschule zu Düsseldorf,

dargestellt von

Dr. Karl Jansen.



[illegible] & Cie., Königlichen [illegible]

1881.

Gasmotor und Lichtmaschine

mit Bezug

auf die neuesten Erwerbungen des physikalischen Kabinets der Realschule zu Düsseldorf,

dargestellt von

Dr. Karl Jansen.

Das physikalische Kabinet unserer Anstalt hat in dem verflossenen Schuljahre einen recht erfreulichen Zuwachs seines Apparates zu verzeichnen gehabt. Mehrjährige Etats-Ersparnisse, sowie freiwillige Beiträge, welche von abgehenden Schülern dem verstorbenen Herrn Direktor Heinen behufs physikalischer Erwerbungen eingehändigt worden waren,*) hatten es ermöglicht, eine Einrichtung zu treffen, welche dem physikalischen Unterrichte um so mehr zu gute kommt, als ihre Handhabung eine einfache und ihre Anwendung eine äusserst mannigfaltige ist. Eine dynamo-elektrische Lichtmaschine aus der Fabrik des Herrn Siegmund Schuckert in Nürnberg**) nebst einem zweipferdigen Motor aus der Gasmotorenfabrik zu Deutz bilden nämlich seit dem letzten Sommer einen wesentlichen Teil der Ausrüstung unsers physikalischen Lehrzimmers. Stets bereit, ein Licht hervorzubringen, welches nahezu dem von hundert Bunsenschen Elementen gleichkommt, gewährt die neue Einrichtung die bequemste und sicherste Grundlage zur Anstellung der wichtigsten optischen, sowie einer Menge anderer Versuche und macht dadurch den Unterricht nicht nur von dem wechselvollen und unberechenbaren Erscheinen des direkten Sonnenlichtes unabhängig, sondern beseitigt auch das zeitraubende und gesundheitsschädliche Operieren mit grössern Batterien.

Zur Zeit befinden sich nur wenige höhere Lehranstalten im Besitze eines recht zweckmässigen Apparates für die Lichterzeugung; doch sind von verschiedenen Seiten her Anfragen an den Verfasser bezüglich unserer Anlage ergangen; dies war der eine Grund, welcher zu einer ausführlichern Besprechung beider Maschinen bei Gelegenheit des diesjährigen Osterprogramms veranlasste. Besonders aber war bei Abfassung der folgenden Zeilen der Wunsch massgebend, die Schüler der obern Klassen unserer Schule, welche den neuen Apparaten gegenüber ein recht reges Interesse bekundet haben, über Entwickelung und Einrichtung derselben eingehender zu unterweisen, als dies im Verlaufe des regelmässigen Unterrichts geschehen kann. Diejenigen frühern Schüler, welche sich durch ihre Spenden um das Gelingen des Werkes verdient gemacht haben, mögen darin gleichzeitig den Dank der Schule erblicken.

---

*) Vergl. Einladungsschrift zur Feier des 25jährigen Bestehens der Anstalt am 28. Mai 1863 Seite 62.

**) Nr. 3 des Katalogs von Schuckert.

Der Motor.

Geschichtliches. „Eine der barocksten Ideen, welche auf dem Gebiete des Maschinenwesens zur Durchführung gelangten“, sagt Professor Gustav Schmidt,*) „ist wohl die, explosive Gasgemenge als motorische Substanz, beziehungsweise als treibende Kraft zu verwenden.“

Das Verdienst, diese Idee verwirklicht zu haben, gebührt Herrn Lenoir in Paris, über dessen Erfindung in den technischen Journalen des Jahres 1860 zuerst Bericht erstattet wird. Lenoirs Maschine war von der Form einer liegenden doppelt wirkenden Dampfmaschine. Das explosive Gemenge**) trat unter Anwendung eines Doppelschiebers abwechselnd diesseits und jenseits des Kolbens ein und wurde mit Hülfe eines Ruhmkorff'schen Apparates entzündet. Das Letztere war in der Weise ausgeführt, dass der den induzierten Strom führende Leitungsdraht am vordern und hintern Ende in den Cylinder eintrat und an diesen Stellen durchschnitten war. So oft nun der Strom durch Vermittlung des hin und her gehenden Kreuzkopfes unterbrochen wurde, erfolgten an den angegebenen Stellen zwei Induktionsfunken, welche an der Seite eine Zündung veranlassten, wo grade das Gasgemenge sich vorfand. Ein zweiter Doppelschieber bewirkte den Austritt der verbrauchten Gase.

Die Unterhaltungskosten der neuen Maschine waren einigermassen hoch; verbrauchte sie doch pro Pferd und Stunde etwa 2,7 bis 3,4 Kubikmeter Gas, eine ungeheure Menge Schmiermaterial, sowie etwa 800 Liter Wasser zum Kühlen des Cylinders.***) Wenn sich dabei das Kühlwasser von 18 auf 40° C. erwärmte, so ergab dies einen Wärmeverlust von 17600 Kalorien pro Stunde, d. h. einen Verlust, der 27mal soviel betrug, als die der Nutzleistung entsprechende Wärmemenge. Ausserdem entwichen die Verbrennungsgase aus der Maschine mit 280° C. Der ausserordentlich grosse Wärmeverlust hatte seinen Grund darin, dass die Maschine ihrer ganzen Anlage nach eine grosse Kolbengeschwindigkeit†) nicht zuliess, mithin der grösste Teil der momentan entstandenen Hitze an Cylinder, Kühlwasser und umgebende Luft abgegeben wurde, ehe er zur Arbeitsverrichtung rechte Zeit finden konnte.

Nichts desto weniger fand die Lenoir-Maschine viele Liebhaber, namentlich unter denjenigen Gewerbtreibenden, welche der Maschinenkraft nicht kontinuierlich, sondern mit häufigen

*) Karmarsch und Heeren's Technisches Wörterbuch, 3. Band, Seite 699. Manche der folgenden historischen Notizen verdanken wir dem Aufsatze des Herrn Schmidt.

**) 2 bis 8 % Gas und 98 bis 92 % Luft.

***) Eine kleine Dampfmaschine verbraucht etwa 5 kg Kohle.

†) Höchstens 90 Touren pro Minute; die meisten Maschinen gingen aber viel langsamer.

Unterbrechungen bedürfen. Selbstverständlich konsumiert die Maschine ja nur, so lange sie arbeitet und hat ausserdem den Vorteil, dass sie fast mit derselben Bequemlichkeit in Gang gesetzt werden kann, mit welcher man eine Gasflamme anzündet.

Lenoir's Maschine wird mehrfach abgeändert und verbessert bis auf den heutigen Tag fabrikmässig hergestellt. Doch erwuchs ihr seit der Zeit der ersten Pariser Ausstellung (1867) eine starke Konkurrentin in der „atmosphärischen Gaskraftmaschine" von Otto & Langen. Diese Maschine erfordert nur $^3/_4$ bis 1 cbm Leuchtgas pro Stunde und Pferd; das Kühlwasser umspült nur ein Drittel des Cylinders und bedarf nicht steter Erneuerung, sondern es reicht eine zweckmässig eingerichtete Wasserzirkulation vollständig aus. Diese wesentlichen Verbesserungen werden dadurch erreicht, dass die Maschine einen aufrechtstehenden, oben offenen Cylinder besitzt, dass ferner der Kolben während seines Hubes ausser Verbindung mit der Arbeitswelle ist und erst bei seinem Rückgange durch ein sinnreich konstruiertes Schaltwerk mit der Arbeitswelle verbunden arbeitverrichtend wirkt. Indem nämlich der Kolben für sich allein in einem offenen Cylinder, also gewissermassen ohne Widerstand, emporgeschleudert wird, so kann er weit schneller, als es bei der früheren Konstruktion der Fall war, der Expansion der Gase folgen und die gebotene Wärme nutzbar verwerten; nur die Schwere des Kolbens, der hier wegen der beim Rückgange zu leistenden Arbeit viel beträchtlicher sein muss, als bei Lenoir, setzt der Ausnutzung der Wärme ihre Schranken. Die von dem Kolben in Folge des plötzlichen Gasdrucks gewonnene lebendige Kraft ist so gross, dass er sich bedeutend über jene Höhe erhebt, bei welcher er von den darunter befindlichen Gasen im Ruhezustande getragen werden könnte, ja es wird sogar die Endspannung der Cylindergase bei der höchsten Kolbenstellung wesentlich geringer, als die Spannung der atmosphärischen Luft. An der Erzielung dieses letztern Resultats beteiligt sich selbst die an das Kühlwasser abgegebene Wärme, indem durch diesen Wärmeverlust die Spannung im Cylinder gemindert und ein Teil des durch die Verbrennung gebildeten Wasserdampfes kondensiert wird. Beim Rückgange des Kolbens wirkt daher nicht bloss die bedeutende Schwere des Kolbens und seines Zubehörs, sondern auch der Überdruck der Luft über die Spannung der Gase im Cylinder,*) ein Druck, welcher durch Zuhülfenahme einer Wassereinspritzungspumpe noch sehr erheblich gesteigert werden kann.

Dass die Zündung durch eine Gasflamme statt durch einen Ruhmkorff'schen Apparat bewirkt wurde, musste auch als eine wesentliche Verbesserung begrüsst werden.**) Einen Haupt-Übelstand jedoch hat der Otto-Langen'sche Motor; es ist das widerwärtige Geräusch, welches von dem die Auslösung des Kolbens bewirkenden Schaltwerk verursacht wird. Man zieht daher begreiflicher Weise die Lenoir-Maschine der Otto-Langen'schen in allen den Fällen vor, in denen nicht die geringere Höhe der Betriebskosten, sondern der ruhige Gang für die Wahl des Systems entscheidend ist. Dass es indes Fälle genug gibt, in denen man den starken Lärm noch gerne mit in den Kauf nimmt, beweist die Thatsache, dass innerhalb eines Zeitraums von 10 Jahren mehr als 4000 Stück dieser Maschine für die verschiedenartigsten Teile der Industrie in Betrieb genommen worden sind.

*) Es erklärt sich hieraus der Name „Atmosphärische Gasmaschine".

**) Die Gasflammenzündung ist nach Prof. Reuleaux eine Erfindung des Herrn Hugon in Paris; doch kam sie erst bei der Otto-Langen'schen Maschine zur allgemeinen Anwendung.

Es ist selbstverständlich, dass an der Beseitigung des genannten Übelstandes mit Energie gearbeitet wurde, und es schien auch, als wenn die Schwierigkeit durch die Gilles'sche Konstruktion, bei welcher ein frei nach oben gehender Flugkolben und ein mit der Welle verbundener Arbeitskolben auftreten, besiegt worden sei, als dieselbe Firma, welche zuerst das Prinzip der direkten Wirkung verlassen, nunmehr mit ungeahntem Erfolge zu demselben zurückkehrte.*) Herr N. A. Otto nämlich, derselbe deutsche Ingenieur, der bei der Konstruktion der atmosphärischen Gasmaschine so wesentlichen Anteil hatte, stellte im Jahre 1876 eine Maschine her, welche nach Art der gewöhnlichen Dampfmaschine arbeitend, die Vorzüge der Lenoir'schen und der atmosphärischen Gaskraftmaschine in sich vereinigte. Von der Lenoir'schen Maschine entlehnt der neue Motor die direkte Wirkung auf die Arbeitswelle und vermeidet dadurch das Geräusch, von der atmosphärischen Maschine nimmt er den offenen Cylinder und damit die Möglichkeit einer grossen Kolbengeschwindigkeit. Als neues Prinzip fügt er hinzu die Kompression des Gasgemischs und eine verlangsamte Verbrennung desselben und erreicht damit die möglichste Ausnutzung der Wärme trotz der Arbeitsleistung während des Kolbenhubs.

Um die Wirkung der Kompression zu verstehen, ist es nötig, die Vorgänge im Cylinder unter den beiden entgegengesetzten Voraussetzungen sich zu vergegenwärtigen. Man denke sich also zunächst den Cylinder (siehe das Diagramm Fig. IV *a*) bis auf eine gewisse Länge mit dem explosiven Gemenge unter atmosphärischer Spannung gefüllt (A B). Ist die Mischung etwa im Verhältnis von 1 Raumteil Leuchtgas zu 13 Raumteilen Luft gewählt, so steigt im Augenblicke der Zündung die Spannung auf stark 8 Atmosphären (B C). Der Kolben wird nun vorgestossen, und sofern der Cylinder eine Länge von 8 A B hat, treten die Verbrennungsprodukte mit atmosphärischer Spannung aus.**) Die Kurve *c d* gibt die an den einzelnen Stellen des Cylinders herrschende Spannung an.

Es sei zweitens ein anderer Cylinder (Figur IV *b*) seiner ganzen Länge nach mit Gasen von derselben Mischung unter atmosphärischem Drucke gefüllt (A' D'), die Gase seien hierauf auf den Raum A' B' = A B zusammengedrückt. Ist nun die Cylinderlänge A' D' das nfache von A' B', so steigt infolge der Kompression die Spannung auf n Atmosphären (D' E') und infolge der dann eintretenden Zündung auf 8 n Atmosphären (E' C'). Der Kolben bewegt sich bis an das Ende des Cylinders, die Spannung nimmt ab (C' F') und beträgt zum Schluss $\frac{8n}{n} = 8$ Atmosphären. Mit dieser Spannung treten die Verbrennungsprodukte ins Freie.***)

Berechnet man jetzt für irgend eine Kolbenstellung X die in dem betreffenden Momente herrschende Spannung, so ergibt sich, wenn A X = A' X' = s. A B ist, $\frac{8}{s}$ Atmosphären bei Zündung unter normalem Luftdrucke, $\frac{8n}{s}$ Atmosphären bei Zündung unter Zuhülfenahme der Kompression. Da aber im zweiten Falle n mal soviel Gas, als im ersten Falle

*) Schöttler in der Wochenschrift des Vereins deutscher Ingenieure. 1880. S. 222.

**) Der Einfachheit halber ist hier und im Folgenden nur das Mariotte'sche Gesetz zu Grunde gelegt.

***) Daher das heftige, dem Schlagen auf ein Stück Eisen ähnliche Auspuffen aus dem im Freien endigenden Ausströmungsrohre.

gebraucht wird, so käme man zu dem Resultate, dass in Bezug auf den Nutzeffekt die Kompression gänzlich ohne Einfluss wäre. Es ist jedoch nicht ausser Acht zu lassen, dass für die Wirkung der Expansion auf den Kolben nicht sowohl der absolute Druck im Innern des Cylinders, als vielmehr der Überdruck über die von aussen auf den Kolben wirkende atmosphärische Luft in Rechnung zu ziehen ist. Dieser Überdruck beträgt in dem einen Falle $\frac{8}{s} - 1$, im anderen $\frac{8n}{s} - 1$ Atmosphären, und wenn wir das letztere auf die Gasmenge des erstern reduzieren, so haben wir für gleiche Gasmengen im ersten Falle einen Überdruck von $\frac{8}{s} - 1$, im andern Falle einen Überdruck von $\frac{8}{s} - \frac{1}{n}$ Atmosphären. Daraus folgt, dass gleiche Gasmengen, wenn sie komprimiert werden, mehr Arbeit zu leisten imstande sind, als wenn sie bei atmosphärischer Spannung entzündet werden,*) und zwar gestaltet sich die Wirkung der Kompression um so günstiger, je grösser einesteils s wird, d. h. je mehr sich der Kolben dem Ende des Cylinders nähert, und je grösser anderseits n angenommen wird, d. h. je mehr die Gase komprimiert werden. Bezüglich der Grösse von n ist allerdings eine Einschränkung geboten, schon desshalb, weil das Grösserwerden von n auch eine Verlängerung des Cylinders zur Folge hat; den Cylinder aber in kleinen Dimensionen zu halten, ist desshalb recht wünschenswert, weil man bestrebt sein muss, die Wärmeabgabe an die Cylinderwand nach Möglichkeit einzuschränken, und gerade darin liegt ein Hauptnutzen der Kompression, dass die Vermehrung des Überdrucks der Verminderung der Cylinderlänge zu gute kommen kann. Der Otto'sche Motor komprimiert im Verhältnis von 5:2. Hiernach ist das Diagramm Fig. IV *b* aufgenommen und es zeigt sich dabei recht augenfällig die Verkürzung des Cylinders unter Anwendung der Kompression.

Um die Erwärmung des Cylinders herabzudrücken, ist es geboten, mit nicht zu starken Gasgemengen zu arbeiten. Je weniger Leuchtgas das Gemenge enthält, desto geringer stellt sich die Temperaturdifferenz zwischen der Cylinderwand und den Verbrennungsprodukten, desto geringer ist auch der Wärmeverlust. Anderseits werden aber hierdurch die Gaspartikelchen immer weiter auseinandergebracht und bei einem gewissen Grade der Verdünnung kann leicht die prompte Zündung, sowie die vollständige Verbrennung des Gases in Frage gestellt werden. Auch in dieser Beziehung erweist sich die Kompression als eine äusserst vorteilhafte Neuerung, indem sie die entfernten Gaspartikelchen wieder nähert und dadurch ohne Nachteil für die Verbrennung ein sehr verdünntes Gasgemenge zulässt.

Eine Hauptursache bedeutenden Wärmeverlustes lag bei den frühern Gasmaschinen in dem Umstande, dass die Zündung sich in demselben Momente auf die ganze im Cylinder

*) Herr Schöttler berechnet (a. a. O.) die von einem Kilogramm Gas ohne Kompression geleistete Arbeit auf 1 400 000 mkg, dagegen die mit Kompression geleistete Arbeit auf 1 200 000 mkg und fügt die Bemerkung hinzu: „Auf die geleistete Arbeit hat also die Kompression keinen, mindestens keinen günstigen Einfluss". Es ist leider nicht angegeben, wie die Berechnung angestellt wurde. Sollte nicht die Cylinderlänge schon mit in Rechnung gezogen sein, so ist es möglich, dass Herr Schöttler statt des Überdrucks den absoluten Druck benutzt habe. Übrigens ist es auch irrtümlich, wenn Herr Schöttler bei einem Kompressionsverhältnis von 5:2 die Spannung auf $3^1/_2$, statt auf $2^1/_2$ anwachsen und die Verbrennungsprodukte mit 6, statt mit 8 Atmosphären Druck austreten lässt.

eingeschlossene Gasmasse erstreckte. Da die freigewordene Wärme nicht auch ebenso momentan in mechanische Arbeit sich umsetzen konnte, so ging der grösste Teil derselben an die Umgebung verloren (vergl. S. 4). Herrn Otto ist es gelungen, eine Vorrichtung zu treffen, wodurch die Zündung annähernd in dem Masse eintritt, als die gebildete Wärme zur Arbeitsleistung verwertet werden kann. Die Einrichtung ist folgende:

Die Kompression setzt voraus, dass die Cylinderlänge entsprechend grösser ist als der Kolbenhub; bei dem Otto'schen Motor verhält sich gemäss der dort angewendeten Kompression die Cylinderlänge zum Kolbenhub wie 5:2. Dadurch bleiben bei jedem Kolbenrückgange Verbrennungsgase im Cylinder, welche $^{2}/_{5}$ des Cylinderraumes ausfüllen. Durch die besondere Art der Steuerung wird ferner bei dem darauf folgenden Einsaugen, wie später ausführlicher gezeigt werden soll, zuerst Luft im Betrage von $^{3}/_{10}$ des Cylinderraumes und dann Gas und Luft gemeinsam bis zur Füllung des Cylinders aufgenommen.

So gibt es im Cylinder drei Portionen verschiedenartiger Luftarten, die bei der Geschwindigkeit (das Schwungrad der zweipferdigen Maschine macht 180 Touren in der Minute) und bei der Gleichmässigkeit der Bewegung nicht Zeit haben, sich vollständig mit einander zu mischen und die daher bis zu einem gewissen Grade ihre Schichtung beibehalten. Zunächst dem Cylinderboden, von woher die Zündung erfolgt, findet sich das Gasgemisch mit der grössten Explosionsfähigkeit. Es sichert das exakte Eintreten der Zündung und verleiht dem Kolben den ersten Antrieb. Weiter nach vorne liegen Schichten von abnehmender Explosionsfähigkeit; sie entzünden sich erst allmählich und bilden gewissermassen den Nachschub.

Man hat hin und wieder die schichtenweise Lagerung in Abrede gestellt und die verlangsamte Zündung lediglich der Verdünnung des Gases durch die Verbrennungsprodukte zugeschrieben. Demgegenüber darf ich bemerken, dass Herr Otto, dem in dieser Sache gewiss das erste Wort gebührt, die vorhin vorgetragene Ansicht vollständig teilt, und, wie er brieflich mir mitzuteilen die Güte hatte, gerade behufs Erzielung eines stark verdünnten Gemenges in der Nähe des Kolbens und eines recht kräftigen an der Zündstelle das hintereinander erfolgende Eintreten von Luft und Gasgemenge eingerichtet hat. Zudem haben mir Versuche mit gefärbten Flüssigkeiten die Schichtung in überraschend schöner Weise gezeigt, und wenn daraus auch nicht ohne Weiteres auf eine gleiche Schichtung bei Gasen geschlossen werden darf, so wird ja doch in unserm Falle auch nur eine partielle Schichtung postuliert, die jedenfalls um so leichter eintritt, als Einsaugen und Komprimieren zusammen in nur $^{1}/_{3}$ Sekunden statthat und ausserdem die Difusion durch das Komprimieren bedeutend erschwert wird.

Der Gasverbrauch der neuen Maschine stellt sich auf 1 bis 1,25 cbm pro Stundenpferd, der Verbrauch an Kühlwasser ist unbedeutend und beträgt etwa 50 Liter. Wegen des einfacheren Mechanismus kommen Reparaturen weit weniger vor, als bei den atmosphärischen Gaskraftmaschinen. Gegenüber der Dampfmaschine hat die Maschine von Otto manche Vorzüge, die ihr zum Teil mit den übrigen Gasmotoren gemeinsam sind, während andere als ihr eigentümlich bezeichnet werden müssen. Vor allem fällt die kostspielige Kessel- und Feuerungsanlage fort; es verschwindet damit die Zufuhr des Brennmaterials, das zeitraubende Anheizen, das Wegschaffen der Asche, die vielfach lästige Wärmeentwickelung im Aufstellungsraume u. s. w. Die Maschine ist jeden Augenblick betriebsfähig und das Schliessen eines Gashahns genügt, um sie zum Stillstand zu bringen, Umstände, die auch für die Benutzung der Maschine

zu Unterrichtszwecken Ausschlag gebend sind. Die Maschine konsumiert ferner nur genau so lange, als sie arbeitet und selbst während ihrer Thätigkeit reguliert ein selbstthätiges Ventil den Gasverbrauch nach Massgabe der grade zu leistenden Arbeit. Ein recht hoch zu schätzender Vorzug ist auch der fast gänzliche Ausschluss einer Feuersgefahr, die nicht grösser ist, als bei einer gewöhnlichen Gasanlage zu Beleuchtungszwecken.*) Dies hat zur Folge, dass die Maschine in jedem beliebigen Raume, sei es zu ebener Erde, oder in Etagen aufgestellt werden kann.**)

Der Erfolg des Otto'schen Motors war ein durchschlagender, so dass seit dem Juli 1877 die atmosphärischen Gaskraftmaschinen nur mehr auf ½ und 1 Pferdekraft gebaut und seitdem schon über 4000 Exemplare***) der neuen Maschine für die verschiedensten Industriezweige in Betrieb gesetzt wurden. Auch 35 Unterrichts-Anstalten befinden sich gegenwärtig in dem Besitze eines Otto'schen Motors.

Die Königliche Staats-Regierung ehrte auf der jüngsten Gewerbe-Ausstellung hierselbst den geistreichen Erfinder, indem sie der Gasmotorenfabrik zu Deutz die höchste Auszeichnung durch Verleihung der goldenen Staats-Medaille zu teil werden liess.

Die Maschine wird unter dem Namen „Otto's Neuer Motor" in der genannten Fabrik, sowie in einigen andern Fabriken gebaut, denen die Berechtigung dazu von der erstern übertragen wurde. Früher auf Grössen von ½ bis 12 Pferdekräften beschränkt, wird seit 1880 die Maschine auch in Stärken von 15, 20 und 25 Pferdekräften ausgeführt. Seit dem letzten Sommer ist in der Zuckerfabrik Elsdorf sogar eine solche mit mehreren Cylindern und 60 Pferdekräften Arbeitsfähigkeit ununterbrochen thätig.

Die Maschine, welche unsre Schule besitzt, ist eine zweipferdige. Sie in ihren Einzelheiten zu beschreiben, soll die Aufgabe der nächsten Zeilen sein.

Beschreibung des Motors. Die Otto'schen Motoren stimmen in ihrer Konstruktion vollständig überein, in ihren Grössenverhältnissen variieren sie natürlich je nach der beabsichtigten Leistungsfähigkeit. Der zweipferdige Motor hat eine Länge von 2,52 m, seine grösste Breite beträgt 0,98 m, seine Höhe inclusive des gusseisernen Fundamentbockes, auf welchem er liegt, ohne Schwungrad 1,13 m, mit Schwungrad 1,65 m. Das Gewicht des Motors nebst Fundamentbock beträgt 1200 Kilo. Er macht 180 Touren in der Minute.

Analog der Dampfmaschine besitzt auch der Gasmotor Cylinder, Kolben und Schwungrad, sowie zum rechtzeitigen Ein- und Austritt von Explosionsgemenge und Verbrennungsprodukten eine Steuerung nebst Regulator.

Der Cylinder. (Figur I und III.) Der Cylinder ist an der vordern, d. h. an der dem Schwungrad zugewendeten Seite offen; der Kolben kann daher durch die Kraft des explodierenden Gases nur vorwärts bewegt werden während die Rückbewegung durch das Beharrungsvermögen des rotierenden Schwungrades bewerkstelligt werden muss.

Steht der Kolben im innern toten Punkte, so bleibt zwischen ihm und dem Cylinder noch ein Raum, welcher zwei Drittel des vom Kolben zu durchlaufenden Weges ausmacht. Dies ist der Raum, den die Gase im Augenblicke der Zündung einnehmen. In der Mitte der

*) Eine polizeiliche Genehmigung ist daher bei der Aufstellung nicht erforderlich; auch wird von den Versicherungsgesellschaften eine erhöhte Prämie nicht beansprucht.

**) Der zweipferdige Motor der Realschule zu Köln steht in der ersten Etage.

***) Nach gefälliger Mitteilung des Herrn Otto.

Hinterwand des Cylinders befindet sich eine Öffnung zur Aufnahme und Entzündung des Explosionsgemenges, sowie nahebei in der Seitenwand eine zweite Öffnung zum Austritt der Verbrennungsprodukte.

Da die Explosion nicht ohne Erhitzung des Cylinders erfolgen kann, so umgibt denselben ein ziemlich weiter, mit Wasser angefüllter Mantel von Eisenblech. Damit aber das Wasser eine niedrige, jedenfalls 70° C. nicht übersteigende Temperatur behalte, wird es durch stetigen Zufluss aus einer Wasserleitung erneuert, oder durch Verbindung mit einem grösseren Wasserbehälter in fortwährender Cirkulation erhalten.

Der Kolben. Der Kolben besitzt auf seiner cylinderförmigen Oberfläche in gleichen Zwischenräumen fünf ringsumlaufende, also kreisförmige Einschnitte von etwa 0,6 cm Breite, die durch lose einliegende Stahlreifen wieder ausgefüllt werden. Da diese Reifen an einer Stelle quer durchschnitten sind, so federn sie gegen die Innenwand des Cylinders und stellen dadurch in einfacher Weise einen sichern, namentlich gegen die Verbrennung geschützten, luftdichten Schluss her.

Die Übertragung der Kolbenbewegung auf Arbeitskurbel und Schwungrad geschieht in gewöhnlicher Weise durch Kolben- und Pleuelstange.

Die Steuerung. Am meisten charakteristisch für die Gasmaschinen ist die Art der Steuerung. Bei dem Otto'schen Motor ist dies ein ziemlich komplizierter Mechanismus, welcher von der Steuerwelle in Bewegung gesetzt wird und als Hauptteile den Schieber, das Einströmungsventil und das Ausströmungsventil erkennen lässt.

a. Die Steuerwelle. (Siehe den Horizontalschnitt, Fig. III.) Die in den Achsenlagern *C* liegende Arbeitswelle *MN* setzt mittelst der bei *J* befindlichen Zahnradverbindung die längs der ganzen Maschine herlaufende Steuerwelle *W* in Bewegung. Letztere trägt bei *K* die Steuerkurbel, deren Aufgabe es ist, mit Hülfe der Stange *T* den bei *R* angefügten Schieber *S* horizontal hin und her zu bewegen. Bei *A* und *E* besitzt die Welle zwei mit ihr umlaufende Hülsen, von denen die eine (*E*) das Einströmungsventil, die andere (*A*) das Ausströmungsventil bei jeder Umdrehung je einmal öffnet. Das Zahnrad *F* überträgt die Bewegung der Welle auf den Centrifugalregulator.

Von den bei *J* ineinandergreifenden Zahnrädern hat das auf der Arbeitswelle sitzende nur halb soviele Zähne, wie das an der Steuerwelle; die Folge davon ist, dass jeder doppelten Drehung der Arbeitswelle eine einmalige der Steuerwelle entspricht, oder was dasselbe ist, dass erst bei jedem zweiten Kolbenhub eine Explosion erfolgt. Die Maschine gehört deshalb zur Kategorie der halbwirkenden.

b. Der Schieber. Der Cylinderboden, d. h. der am hintern Ende der Maschine gelegene Teil des Cylinders, ist äusserlich zu einer rechteckigen Fläche, Platte genannt, erweitert (*PP* in Fig. III); vor dieselbe legt sich, durch Schrauben und Spannfedern befestigt, der entsprechend geformte Deckel *D*. Beide sind auf den einander zugekehrten Seiten sorgfältig abgeschliffen und gestatten dadurch dem zwischen ihnen hin- und hergleitenden Schieber *S*, der die Gestalt einer rechteckigen Tafel hat, bei luftdichtem Schluss eine ebenmässige Bewegung.

In Figur II haben wir Platte, Schieber und Deckel in halber natürlicher Grösse zur Anschauung gebracht, und zwar bedeutet *abcd* die Platte, *efgh* die auf der Platte schleifende Seite des Schiebers, *hgki* die Oberseite des letztern, *iklm* die dem Deckel anliegende Seite

des Schiebers und *nopq* die Innenseite des Deckels. Um die Correspondenz der einzelnen Teile von Platte, Schieber und Deckel leichter in die Augen springen zu lassen, haben wir das Arrangement so getroffen, dass *ef* die vordere Unter-Kante des Schiebers darstellt, entsprechend der untern Kante *cd* der Platte; ebenso ist *no* die untere Kante des Deckels, zusammentreffend mit der zweiten untern Kante *ml* des Schiebers. Denkt man sich die beiden Seiten des Schiebers *efgh* und *iklm* längs den Linien *hg* und *ik* rechtwinkelig umgebogen, so erhält man gewissermassen ein Modell des Schiebers, welches mit den Abbildungen von Schieber und Platte in gehöriger Weise zur Deckung gebracht, eine plastische Veranschaulichung der ganzen Vorrichtung geben würde. Die übereinstimmenden Buchstaben bezeichnen immer solche Teile, welche bei entsprechender Schieberstellung mit einander in Kommunikation treten.

Bei dieser Gelegenheit möchten wir nicht unterlassen, den Leser zu bitten, sich von der Figur des Schiebers eine Copie in Papier auszuschneiden, die nach Bedürfnis zwischen den Figuren von Platte und Deckel hin- und hergeschoben werden kann. Von der Überzeugung ausgehend, dass hierdurch das Verständnis wesentlich erleichtert wird, haben wir an der linken Seite der Schieberzeichnung punktierte, mit den Zahlen von 1—4 versehene Orientierungslinien angebracht, in dem Sinne, dass wenn diese Linien der Reihe nach mit den Linien *ad* und *nq* in dieselbe Richtung gebracht werden, dadurch ohne weiteres die Lagen, von denen im Laufe des Textes die Rede sein wird, mit voller Bestimmtheit charakterisiert sind.

Die Platte hat bei *E* eine rechteckige Öffnung zum Einströmen des Gasgemenges in den Cylinder; durch dieselbe Öffnung erfolgt die Zündung; ein kleine Öffnung *V* oberhalb der erstern steht durch schräge Bohrung nach unten mit dem bei *E* beginnenden und den Cylinderboden durchsetzenden Kanale in Verbindung; sie dient einem besondern Zwecke, von dem erst später (Seite 14) die Rede sein wird. Die Öffnung *L* der Platte ist das Ende eines jenseits derselben befindlichen, offenen Luftrohrs. Trifft sie mit der Öffnung *L* des Schiebers zusammen (Lage 2), so strömt Luft in die innerhalb des Schiebers gelegene Kammer *LG*. So oft dieses geschieht, kommunizieren aber auch auf der andern Seite des Schiebers die fünf kleinen Löcher *G* mit der rechteckigen Öffnung *G* des Deckels und lassen aus dem bei dieser Öffnung mündenden Gaszuleitungsrohr *R* Leuchtgas in dieselbe Kammer *LG* eintreten, sofern das im Rohre *R* befindliche Einströmungsventil geöffnet ist. Luft und Gas gelangen dann aus der Kammer *LG* durch die Öffnung *E* des Schiebers in den Kanal *E* der Platte.

Auf seiner hintern Seite besitzt der Schieber drei übereinander liegende Öffnungen *Z*, *B* und *K*. Von *Z* aus ist schräg aufwärts, von *B* aus schräg abwärts in den Schieber hineingebohrt; die bei *B* und *Z* beginnenden Kanäle vereinigen sich deshalb bald mit einander und münden auf der Vorderseite des Schiebers in der gemeinsamen Öffnung *BZ*. Die Öffnung *K* geht quer durch den Schieber und erweitert sich auf der Vorderseite bis *V*, während gleichzeitig unmittelbar vor der Durchbrechung der Vorderwand ein kleiner Kanal senkrecht nach *BZ* abzweigt. Da diese Kanalverbindung, wie sich sogleich ergeben wird, die zur Entzündung des Explosionsgemenges dienende Flamme enthält, so führt sie passender Weise den Namen Entzündungskammer.

In den Deckel treten von unten her zwei dünne Gasleitungsrohre *X* und *Y* ein. In das eine Rohr *X* ist bei *K* hineingebohrt, so dass eine Verbindung zwischen diesem und der sich rechtwinkelig anschliessenden Rinne *KK'* hergestellt wird. Auf diese Weise kann Leuchtgas

in die Entzündungskammer eintreten, so lange die Öffnung K des Schiebers auf der genannten Rinne schleift. Das zweite Gasrohr Y endigt bei B in einen Brenner, der, damit an dieser Stelle unausgesetzt eine kleine Flamme unterhalten werden kann, von einer viereckigen Luftöffnung umgeben ist. Der kleine Schornstein S erhöht den Luftzug. Durch das Vorbeigleiten der Öffnung B des Schiebers an der im Deckel brennenden Flamme bildet sich die Entzündungsflamme (z. B. Lage 1), welcher durch das Zusammentreffen der Schieberöffnung Z mit einer zweiten Luftöffnung Z des Deckels die nötige Luft zugeführt wird.

c. Das Einströmungsventil. Es wurde vorhin bemerkt, dass die beiden Öffnungen L und G des Schiebers immer gleichzeitig mit den entsprechenden der Platte und des Deckels zusammentreffen, was also auch ein gemeinschaftliches Einströmen von atmosphärischer Luft und Gas zur Folge haben würde. Die Ökonomie der Maschine verlangt jedoch, dass anfangs nur Luft, und hernach erst Gas und Luft gemeinsam in den Cylinder eintreten. (Vergl. S. 8). Dies setzt das Vorhandensein eines Ventils in der Gasleitung voraus. Demgemäss ist in das Hauptgasrohr eine auf dem Cylinderkopfe befestigte Erweiterung eingeschaltet, welche (siehe Fig. I) bei E das fragliche Ventil enthält.*) Dasselbe steht in Verbindung mit dem Winkelhebel ELH, welch letzterer sich in dem horizontalen Lager L dreht und mit seinem hammerförmigen Ende auf der schon erwähnten Einströmungshülse (in Fig. III bei E) schleift. Gelangt nun bei der Drehung der Steuerwelle der auf der Hülse aufsitzende Nocken N unter den Kopf des Hebels, so erfolgt eine kleine Bewegung desselben, durch welche das Ventil geöffnet wird. Nach dem Durchgang des Nockens drückt eine Spiralfeder das Ventil zurück.

d. Das Ausströmungsventil. (Siehe Fig. V.) Aus dem Cylinder (C) gelangen die Verbrennungsprodukte durch den seitlichen Kanal K in ein ziemlich weites Eisenrohr und dadurch ins Freie. In dem Kanale findet sich ein konisches Ventil V, welches durch den quer unter dem Cylinder herlaufenden Hebel SDR gehoben und gesenkt werden kann. Der Hebel endigt mit der Rolle R ganz nahe an der zweiten auf der Steuerwelle aufsitzenden Hülse (in Fig. III durch A markiert). Auch diese Hülse trägt einen Nocken (N), der beim Vorbeigleiten an der Rolle den rechten Hebelarm hinunterdrückt und dadurch das Ventil öffnet. Zum Schliessen des Ventils dient die Spiralfeder F.

Gegenseitige Lage einzelner Maschinenteile. Die regelmässige Funktionierung einer Maschine ist wesentlich dadurch bedingt, dass jeder einzelne Mechanismus die von ihm zu leistende Arbeit grade zur richtigen Zeit ausführt; dies aber hängt grossenteils von der Stellung ab, welche einem jeden von ihnen im Vergleich zu den übrigen angewiesen ist. Das bis jetzt von uns entworfene Bild der wichtigsten Maschinenteile würde also ein unvollkommenes sein, wenn es nicht durch eine weitere Orientierung über die Stellungsverhältnisse vervollständigt würde.

Behufs rechtzeitigen Eingreifens des Schiebers ist der Steuerkurbel von vornherein eine solche Stellung gegeben, dass, wenn die Arbeitskurbel im innern toten Punkt steht, die Steuerkurbel nach links schief aufwärts gerichtet ist und mit der Horizontalebene einen Winkel von 45 Grad bildet. Hieraus ergibt sich, dass Arbeits- und Steuerkurbel niemals gleichzeitig ihre äussersten Lagen einnehmen. Will man sich für jeden einzelnen Augenblick das gegenseitige Stellungsverhältnis schnell vergegenwärtigen, so ist es ratsam, die von den beiden Kurbeln

*) Bei G befindet sich in derselben Erweiterung ein Abschlusshahn mit Handhabe. Derselbe wird beim Ingangsetzen der Maschine vor und nach geöffnet, beim Abstellen geschlossen.

beschriebenen Wege konzentrisch aufeinander gelegt zu denken. In Fig. VI bedeute der grosse Kreis den Weg der Arbeitskurbel, der andere den der Schieberkurbel. Während dann die Arbeitskurbel von *I* ausgerechnet der Reihe nach in die Lagen *II, III* und *IV* gelangt, kommt die Steuerkurbel von *1* nach *2, 3* und *4*.

Die beiden Nocken zum Öffnen von Ein- und Ausströmungsventil liegen horizontal neben einander. Dagegen stehen die Enden der die beiden Ventile bewegenden Hebel (*E* und *A* der Fig. VI) um etwa 225° von einander ab. Hat die Steuerkurbel die Lage *2*, so befindet sich die Höhe des Einströmnockens grade unter *E;* steht sie dagegen in der Mitte zwischen *4* und *1*, so trifft der Ausströmnocken die Rolle *A*. Im erstern Falle ist das Einströmungsventil, im letztern das Ausströmungsventil geöffnet.

Das Spiel der Maschine. Auf Grund der bisherigen Darstellung lässt sich nun leicht das Zusammenwirken der einzelnen Teile konstruieren. Erinnern wir uns dabei zunächst an die Thatsache, dass die Maschine eine halbwirkende ist, so ergibt sich sofort, dass die Thätigkeit der Maschine in vier auf einander folgende Abschnitte zerfällt, welche sich kurz folgendermassen charakterisieren:

Erster Kolbenhub: Einsaugen des explosiven Gasgemenges.
Erster Kolbenrückgang: Kompression des Gasgemenges.
Zweiter Kolbenhub: Explosion und Expansion desselben.
Zweiter Kolbenrückgang: Austreibung der Verbrennungsprodukte.

Wir beginnen also mit dem Augenblicke, in welchem die Kurbeln die in Fig. VI durch die Zahlen *I* und *1* bezeichneten Stellungen gegen einander haben; der Kolben befindet sich dann im innern toten Punkt, die beiden Ventile sind geschlossen, der Schieber hat die Lage *1* (Fig. II). Währenddem nun die Steuerwelle eine Drehung von 45 Grad ausführt, gelangt der Schieber in die äusserste Lage, welche er nach der linken Seite hin einnehmen kann (Lage *2*). Unterdessen korrespondieren die Öffnungen *E* und *L* der Platte mit den gleichnamigen des Schiebers, und der Kolben, der bis dahin einen halben Hingang vollendet, gestattet der Luft, den von ihm durchlaufenen Raum zu erfüllen. Der Zutritt des Leuchtgases ist trotz des Zusammentreffens der Schieber- und Deckelöffnung *G* vor der Hand noch ausgeschlossen. Sobald jedoch der Schieber seinen Rückweg in die Lage *1* beginnt, läuft der Kopf des Einströmungshebels auf den zugehörigen Nocken auf und öffnet das Einströmungsventil, welches nun während einer Drehung der Steuerwelle um weitere 45 Grad geöffnet bleibt. Luft und Gas gelangen jetzt gemeinsam in den Cylinder, in welchem der Kolben den zweiten Teil seines ersten Hinganges vollendet. Schon beim Beginne der Bewegung hat sich auch die Entzündungsflamme gebildet, zunächst jedoch ohne Erfolg, da es noch an der Verbindung zwischen dem Cylinder und der Entzündungskammer fehlt.

Der Kolben kehrt nun zurück und komprimiert die Cylindergase, denen es an einem Auswege fehlt. Den Schieber führt inzwischen eine 90 Grad betragende Drehung seiner Welle in die Lage *3* (Fig. II), die in demselben Momente erreicht wird, in welchem der Kolben den toten Punkt überschreitet. Vor dem Einrücken in diese Lage schliesst sich die Entzündungsflamme nach aussen ab, so dass sie keinen Zufluss von Gas und Luft mehr erhält; dagegen beginnt mit der Lage *3* die Verbindung zwischen der Entzündungskammer und dem Cylinder hergestellt zu werden. Dies geschieht zunächst nur dadurch, dass der abgezweigte Kanal *V*

des Schiebers, welcher der Hauptöffnung *B Z* um 1¼ Millimeter „voreilt", mit der kleinen Öffnung *V* der Platte zur Deckung gelangt. Gleich hinterher treten auch die Hauptöffnungen *B L* des Schiebers und *E* der Platte in Verbindung und die Zündung erfolgt gleichzeitig mit dem Eintreffen des Kolbens im toten Punkte. Um den Zweck der „Voreilung" zu verstehen, möge man bedenken, dass die Cylindergase in Folge der Kompression eine bedeutend höhere Spannung besitzen, als die unter normalem Luftdruck gebildete Entzündungsflamme. Treffen also beide zusammen, so erfolgt eine heftige Luftströmung aus dem Cylinder nach der Entzündungsflamme hin, so heftig, dass bei weiten Öffnungen die Entzündungsflamme dadurch ausgelöscht werden müsste. Um diesem Übelstande vorzubeugen, bahnt man eine mehr allmähliche Ausgleichung der Dichtigkeiten mit Hülfe der Voreilung an und ruft dadurch ausserdem auch wohl noch einen Luftstrom hervor, welcher die Entzündungsflamme in den Cylinder hineintreibt.

Nach erfolgter Zündung treibt die gewaltige Expansion der brennenden Gase den Kolben wieder nach vorne. Der Schieber bewegt sich während der ersten Hälfte des Kolbenhubs in seine Grenzstellung rechts (Lage *4*) und während der zweiten Hälfte wieder zurück in die Lage *3;* jede von diesen Teil-Bewegungen erfordert eine Drehung der Steuerwelle von 45 Grad. Die Schieberöffnungen sind durch Platte und Deckel von aller Kommunikation vollständig abgeschlossen und bleiben es auch während des demnächstigen Kolbenrückganges.

In dem Augenblicke, in welchem der Kolben den äussern toten Punkt erreicht, ist das Ausströmungsventil durch Auflaufen des bezüglichen Nockens auf die zugehörige Rolle geöffnet und lässt die Verbrennungsprodukte austreten, die der zurückkehrende Kolben vor sich hertreibt. Mit einer letzten Drehung von 90 Grad vollendet die Steuerwelle ihre Umdrehung; sie führt damit den Schieber wieder in die Lage *1* zurück und das Spiel beginnt von neuem.

Das Ingangsetzen des Motors. Wie aus der vorigen Darstellung hervorgeht, besteht die erste Thätigkeit der Maschine im Ansaugen und Komprimieren der zur Explosion zu verwendenden Gase. Daraus folgt, dass der Kolben wenigstens einen Hin- und einen Hergang gemacht haben muss, ehe die erste Zündung erfolgen kann. Hieraus ergibt sich ferner die Notwendigkeit, die Maschine am Schwungrade mit der Hand anzudrehen, wobei darauf zu sehen ist, dem Schwungrade recht bald eine möglichst grosse Geschwindigkeit zu erteilen; denn wenn man bedenkt, dass die Entzündungsflamme, nachdem sie von Gas- und Luftzufuhr abgeschnitten ist, nur eine ausserordentlich kurze Lebensdauer besitzt, so wird man begreifen, dass erst bei einer gewissen nicht zu kleinen Drehungsgeschwindigkeit die Zündung erwartet werden darf. Bei zu langsamem Andrehen des Schwungsrads ist die darauf verwendete Arbeit vergeblich und das Gas geht ungenutzt ins Freie.*)

Das Andrehen mit der Hand ist eine Unbequemlichkeit, wenn man will, ein Übelstand der Maschine, allerdings gar nicht zu vergleichen dem Anheizen und sonstigen Schattenseiten einer gewöhnlichen Dampfmaschine. Dem Erfinder der Gasmotoren sind wir zu Dank verpflichtet, dass er eine Einrichtung ersonnen hat, der gedachten Unbequemlichkeit wenigstens teilweise abzuhelfen.

*) Durch massenhaftes Ansammeln solcher Gase im Ausführungsrohre kann später eine allerdings ungefährliche Detonation in demselben hervorgerufen werden.

Den grössten Kraftaufwand erfordert die Kompression der Gase. Da diese zum Ingangsetzen der Maschine nicht unbedingt, oder wenigstens nicht vollständig erforderlich ist, so ist an der Ausströmhülse ausser dem oben erwähnten Nocken noch ein zweiter von etwas geringerer Höhe und Länge angebracht. Wie aus Figur I*a* ersichtlich, liegen beide auf entgegengesetzter Seite der Hülse und auch in horizontaler Richtung etwas von einander verschoben. Die Ausströmrolle *R* ist mittelst des Stiftes *S* auf der kleinen festen Achse *A* horizontal verschiebbar. Steht sie soweit rechts, dass nur der Hauptnocken *N* auf dieselbe einwirken kann, so öffnet sich das Ventil dem regelrechten Gange der Maschine entsprechend bei jedem zweiten Kolbenrückgange zum Auslassen der Verbrennungsprodukte. Ist die Rolle dagegen nach links vorgeschoben, so wirken beide Nocken *N* und *N'* auf sie ein und das Ventil öffnet sich bei jedem Kolbenrückgange, d. h. auch dann, wenn die Kompression erfolgen sollte. Beim Anlassen der Maschine drückt man also die Rolle unter den Weg des Hülfsnockens und zieht ihn zurück, sobald man nach wenigen Umdrehungen die ersten Wirkungen der Explosion verspürt.

Bei den Motoren von mehr als vier Pferdekräften ist nicht die Ausströmungsrolle, sondern die Hülse mit den Nocken verschiebbar, was natürlich die Wirkungsweise in keiner Weise alteriert.

Der Regulator. Zur Herstellung eines regelmässigen Ganges besizt auch der Gasmotor einen Centrifugalregulator, der bei zu schnellem Gange den Gaszufluss abzuschneiden hat. Seine Bewegung erhält er von der Steuerwelle vermittelst zweier senkrecht gegeneinander gestellten Zahnräder (*Z* in Fig. I, *F* in Fig. III).*) Mit zunehmender Rotationsgeschwindigkeit der Kugeln hebt sich (Siehe Fig. I) der Arm *C T* eines um *T* drehbaren Hebels, dessen anderer Arm *T B* mit seinem ringförmigen, in die Einströmungshülse lose eingelassenen Ende einen Druck nach rechts auf die letztere ausübt. Die Hülse ist nur vermittelst eines auf der Welle sitzenden Längsnockens befestigt, so dass sie zwar jede Drehung der Welle mitmachen muss, in horizontaler Richtung dagegen verschiebbar bleibt. Sie weicht daher dem Hebeldrucke und ermöglicht dadurch, dass bei einer über ein gewisses Mass hinausgehenden Geschwindigkeit der Maschine das hammerförmige Ende des Hebels *H L E* links vom Einströmungsnocken *N* schleift und das Einströmungsventil so lange geschlossen hält, bis der Gang der Maschine sich wieder etwas verlangsamt hat.**) Man beachte hierbei, dass in Folge dieser Einrichtung der Gaszufluss entweder ein vollständiger ist, oder ganz ausbleibt; ein partieller Gaszufluss findet nicht statt.

Wenn zeitweilig die von dem Motor zu überwindenden Widerstände zu gross werden, wenn beispielsweise bei einer Lichtmachine durch Zusammenlaufen der Kohlenspitzen die Kraft der Elektromagnete so anwächst, dass der Motor nicht mehr imstande ist, die Drahtspulen durch das magnetische Feld hindurchzutreiben, so kann es wohl vorkommen, dass der Motor unbeabsichtigter Weise und ohne dass gleich jemand zur Stelle ist, in Stillstand versetzt wird.

---

*) Wenn man bei einer fertig montierten Gasmaschine die Kugeln des Regulators nicht sieht, so hat das seinen Grund darin, dass dieselben von einem zum Auffangen niedertropfenden Öls bestimmten Topfe (*C R* in Figur I) umgeben sind.

**) Damit beim Zurückgehen der Hülse der Hebelarm *H*, dessen Kopf ja grade vor den Nocken *N* stossen könnte, nicht abbricht, besteht derselbe aus einem elastischen Stahlstreifen.

Bleibt dabei der Hebelkopf grade auf dem Einströmungsnocken stehen, so findet, da dann ja auch die Schieberkammer *L G* (Fig. II) mit dem Luftzuführungsrohr zusammentrifft, ein gefahrbringendes Ausströmen von Leuchtgas in den Aufstellungsraum statt. Dies zu verhindern, tritt mit dem Zusammenfallen der Regulatorkugeln die Ausströmungshülse so weit nach links, dass der Hebelkopf rechts vom Nocken schleift und das Einströmungsventil auf alle Fälle geschlossen hält.

Der letztere Umstand würde nun allerdings eine bedeutende Mehrleistung beim Andrehen der Maschine zur Folge haben; müsste man ja nun durch vermehrte Rotationsgeschwindigkeit des Schwungrads die Regulatorkugeln so weit heben, dass der Einströmungshebel über den Nocken liefe. Dies zu verhüten, ist bei *A* (Fig. I) eine kleine Stange *S* aufgehängt, die in horizontale Lage gebracht, die Einströmungshülse so weit als eben nötig nach rechts drückt und durch den Gegendruck derselben in einer Kerbe des Hebels *T B* festgehalten wird. Rückt dann bei normaler Geschwindigkeit der Maschine die Hülse noch weiter nach rechts, so hört der Gegendruck auf und die Stange löst sich von selbst aus.

Einige Nebenteile des Motors. Zum Schlusse mögen noch einige Nebenteile des Motors Erwähnung finden.

Das Rohr, welches die atmosphärische Luft dem Schieber bezw. dem Cylinder zuzuführen hat, geht von einem am Boden stehenden „Ansaugetopfe“ (*F* in Fig. I) aus, der ringsum geschlossen, nur ganz unten drei seitliche Öffnungen besitzt. Zweck desselben ist, das beim Einsaugen der Luft entstehende Geräusch abzuschwächen.

Auch in die Ausströmungsrohrleitung ist ein cylinderförmiger, ringsum geschlossener Topf eingeschaltet, der wo möglich im Freien aufzustellen ist (*I* in Fig. I). Dieser „Ausblasetopf“ dient durch seinen Expansionsraum zunächst dazu, das Geräusch der dem Cylinder entströmenden Gase zu verringern; ausserdem bildet er ein Reservoir zum Ansammeln des Kondensationswassers und der aus dem Cylinder mitgerissenen Ölrückstände, welche andernfalls die Röhren verstopfen könnten. Zur Entwässerung des Topfes dient ein am Boden angebrachter Hahn.

Um bei dem stossweise erfolgenden Einsaugen des Leuchtgases ein plötzliches Entleeren des Gaszuleitungsrohres zu verhüten, ist nahe bei der Maschine ein Gummibeutel von etwa 20 Liter Inhalt als Reservoir in dasselbe eingeschaltet. Auf diese Weise wird es möglich, die Entzündungsflamme (deren Rohrleitung vor dem Gummibeutel abgezweigt sein muss) vor dem Erlöschen und die Erleuchtungsflammen der Nachbarschaft vor heftigem Zucken zu bewahren. Sollte dennoch ein Zucken erfolgen, so kann dem in der Regel durch passende Stellung der Gashähne abgeholfen werden.

Die elektrische Lichtmaschine.

Als im Anfange der dreissiger Jahre unsers Jahrhunderts der Engländer Faraday die Beobachtung machte, dass ein galvanischer Strom in einem benachbarten geschlossenen Leiter unter Umständen Nebenströme von der einen oder andern Richtung hervorzurufen imstande sei, da hat wohl niemand geahnt, dass diese momentanen, nur mit Hülfe eines empfindlichen Galvanometers nachweisbaren Ströme dazu berufen seien, die bisherigen Elektrizitätsquellen in den Schatten zu stellen. Zwar hatte man auf dem Gebiete der Elektrizität des Staunenswerten schon genug erfahren, um auch hier auf grossartigere Wirkungen einigermassen vorbereitet zu sein. War es ja doch etwas im höchsten Grade Überraschendes, dass dieselbe Kraft, welche den geriebenen Bernstein veranlasst, leichte Papierschnitzelchen anzuziehen, uns auch im Leuchten des Blitzes so furchtbar, oft so zerstörend entgegentritt, oder dass die Kraft, welche in dem leichten Zucken von Froschschenkeln sich dem Auge bemerkbar machte, ein neues Band um die menschliche Gesellschaft schlingen und es ermöglichen sollte, mit Blitzeseile unsre Gedanken nach den entferntesten Orten der Erde zu übermitteln. Immerhin aber musste es auch die kühnsten Erwartungen bei weitem übertreffen, wenn unter zweckmässiger Anwendung der Faraday'schen Induktions-Elektrizität Maschinen hergerichtet wurden, mit denen man imstande ist, Strassen und Plätze, Fabrikräume und offene Arbeitsstätten taghell zu erleuchten, Maschinen, welche auf meilenweite Entfernung hin den das Meer befahrenden Schiffen die nahe Küste signalisieren und die selbst zu strategischen Zwecken erfolgreiche Anwendung gefunden haben, Maschinen ferner, welche die Galvanoplastik und die Herstellung galvanischer Metallüberzüge als einen grossartigen Erwerbszweig in die menschliche Thätigkeit eingeführt und tausend und aber tausend fleissigen Arbeitern eine reiche Quelle lohnender Beschäftigung erschlossen haben. Und doch ist hiermit die Faraday'sche Entdeckung noch keineswegs bis zu ihrem letzten Ende hin ausgenutzt; ja, es ist nicht unmöglich, dass das, was die Zukunft in dieser Beziehung bringen wird, von noch grösserer Tragweite ist, als das, was die jüngste Vergangenheit bereits gebracht hat. Handelt es sich doch gegenwärtig darum, unter Zugrundelegung derselben physikalischen Gesetze die vielen noch ungenutzt auf der Erde vorhandenen mechanischen Kräfte, die riesigen Wassergefälle, die Ebbe und Flut u. s. w. in nutzbare Arbeit umzusetzen und damit ein niemals aufzuzehrendes Kapital an motorischer Kraft der Menschheit zur Verfügung zu stellen. Wir stehen also mit den Maschinen, wie sie gegenwärtig von Siemens & Halske in Berlin, von Schuckert in Nürnberg und manchen andern in vorzüglicher Leistungsfähigheit geliefert werden, mitten auf einem der grössten Arbeitsfelder der neuern Physik und Technik, und unsre Schule

darf sich glücklich schätzen, dass sie in der Lage ist, an der Hand eines ausgeführten Exemplares ihre Schüler auf die Grossartigkeit der neuern Errungenschaften hinzuweisen und in den Zusammenhang der heutigen Bestrebungen einzuführen.

Es kann hier nicht unsere Aufgabe sein, die verschiedenen Einrichtungen und Konstruktionen, die namentlich in Deutschland, Frankreich und England innerhalb der letzten Jahrzehnte entstanden sind und noch täglich entstehen, einer eingehenden Besprechung zu unterziehen. Wir müssen uns vielmehr damit begnügen, die Haupt-Etappen kurz zu bezeichnen, welche Physik und Technik auf ihrem neusten gemeinsamen Siegeslaufe bis heute passiert haben, namentlich müssen wir dabei die Maschine von Schuckert im Auge behalten, die für uns ja ein besonderes Interesse in Anspruch nimmt. Diejenigen, welche sich ausführlicher über den beregten Gegenstand unterrichten wollen, verweisen wir auf das treffliche Buch von Schellen: „Die magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen, ihre Entwickelung, Konstruktion und praktische Anwendung", welches bei Gelegenheit der Feier des fünfzigjährigen Bestehens der Realschule I. O. zu Köln erschienen ist und später einige Nachträge erfahren hat.

Grundlegende Versuche. Es war im Jahre 1819, als Oersted die Thatsache verkündete, dass der galvanische Strom einen Einflus auf die Stellung der Magnetnadel ausübe. Kaum hatte Ampère Kenntnis von den bezüglichen Erscheinungen genommen, als es ihm gelang, das Gesetzmässige derselben zu erkennen und mit kurzen Worten in der nach ihm benannten Regel auszusprechen. Aber nicht zufrieden damit, suchte er die Oersted'sche Entdeckung zu verallgemeinern und fand dabei sehr bald, dass nicht nur eine Wechselwirkung zwischen einem galvanischen Strome und einem Magneten bestehe, sondern dass auch die Ströme selbst je nach ihrer Richtung sich gegenseitig anziehen oder abstossen und indem er hierbei dem Leiter speziell die Form des Solenoids gab, wurde ihm die merkwürdige Übereinstimmung zwischen elektrischer und magnetischer Wirkung klar, die ihn zur Aufstellung seiner neuen Theorie des Magnetismus führte. Hatte man bisher zur Erklärung der magnetischen Erscheinungen nach der Coulomb'schen Hypothese zwei magnetische Fluida angenommen, so war man jetzt berechtigt, den Magneten mit einem von elektrischen Strömen durchflossenen Solenoide zu identifizieren, oder genauer mit einem Systeme von kleinen Solenoiden, deren Ströme die einzelnen Eisenteilchen in demselben Sinne umkreisen, und deren Ebenen zur Achse des Magneten senkrecht stehen.

Die Ampère'schen Resultate waren nach zwei Seiten hin fruchtbar. War der Magnet wirklich das, wofür Ampère ihn ansah, so musste man mittelst eines Solenoids imstande sein, Stahl oder weiches Eisen magnetisch zu machen. Und in der That konstruierte Arago von diesem Gedanken ausgehend schon im Jahre 1820 den Elektromagneten und wurde dadurch der indirekte Urheber der elektrischen Telegraphen, der elektrischen Uhren und anderer für die Wissenschaft sowohl, wie für das Leben und den Verkehr äusserst wichtiger Apparate. In den Ampère'schen Versuchen war aber auch das dynamo-elektrische Prinzip dem Keime nach enthalten, und rüstig ging man an die Arbeit, um die zwischen Strömen und Magneten stattfindende Anziehung, bzw. Abstossung zu mechanischer Arbeitsleistung auszunutzen. Manche Apparate aus jener Zeit beweisen, wie man zunächst im kleinen die elektrische Kraft zur Hervorbringung von Rotationen verwendete; insbesondere sei hier des bekannten Apparats von Page gedacht, welcher bereits die Form einer betriebsfähigen Maschine hatte. War hiermit theoretisch die Möglichkeit nachgewiesen, an die Stelle der Dampfkraft die Elektrizität treten

zu lassen, so scheiterte allerdings die praktische Ausführung namentlich am Kostenpunkte. Nach Silbermann und Favre*) erzeugt die Verbrennung von 1 g Kohle in Sauerstoff 8 Wärmeeinheiten, dagegen die Auflösung von 1 g Zink in Schwefelsäure nur 0,55 Wärmeeinheiten. Man gebraucht also, um eine gleiche Kraftmenge zu erhalten, 14mal soviel Zink als Kohle, und da ausserdem das Zink etwa 15mal teurer ist, als Kohle, so würde die durch Auflösen von Zink in einer galvanischen Batterie erzielte Arbeitskraft einen 210mal so hohen Kostenaufwand erfordern, als die zu gleichem Zwecke verwendete Kohle. Der Verbrauch an Säuren ist hierbei noch nicht einmal gerechnet. So lange also eine billigere Elektrizitätsquelle nicht gefunden war, konnte die elektrodynamische Kraft mit der durch Verbrennung von Kohlen gewonnenen motorischen Kraft ebensowenig in Konkurrenz treten, wie bis dahin das elektrische Licht gegen das ebenfalls aus Kohlen erzeugte Gaslicht erfolgreich hatte kämpfen können.

Zwei gleich wichtige, die praktische Verwendung der Elektrizität betreffende Probleme harrten also ihrer Lösung, als in den Jahren 1830—32 der Engländer Faraday eine Reihe von Beobachtungen machte, deren Ausnutzung im Laufe der nächsten 30 Jahre wenigstens das eine beider Probleme seiner Lösung entgegen führen sollte. Wird in einem mit einer Batterie in Verbindung stehenden Leiter der Strom abwechselnd geschlossen und unterbrochen, so wird jedesmal auch in einem benachbarten geschlossenen Leiter ein momentaner Strom (Nebenstrom) hervorgerufen, dessen Richtung beim Schliessen dem Hauptstrom entgegengesetzt, beim Öffnen mit demselben gleichgerichtet ist; selbst im Hauptleiter zeigt sich dieselbe Erscheinung (Gegen- oder Extrastrom), so dass der Batteriestrom im Augenblick des Schliessens eine Schwächung, im Augenblick des Öffnens eine Verstärkung erfährt. Statt den Hauptstrom abwechselnd zu schliessen und zu unterbrechen, kann man mit demselben Erfolge die Stromleiter nähern oder entfernen und erhält also bei der Annäherung einen umgekehrt gerichteten, bei der Entfernung einen gleichgerichteten Neben- bzw. Gegenstrom. Da der Magnet als stromdurchflossenes Solenoid gilt, so muss der Magnet grade so wirken, wie ein Batteriestrom.

Dies sind in kurzen Worten die Gesetze, welche sich in den von Faraday gemachten Versuchen offenbarten und mittelst deren die Physik um eine neue, unerschöpfliche Quelle elektrischer Krafterzeugung bereichert worden ist.

Die ersten magnet-elektrischen Maschinen. Die Anwendung liess nicht lange auf sich warten. Schon im Jahre 1832 konstruierte Pixii in Paris die erste magnet-elektrische Rotationsmaschine, bei welcher ein aufrecht stehender Hufeisenmagnet dicht unterhalb der beiden Eisenkerne zweier Drahtspulen mittelst einer Handkurbel in rasche Drehung um seine vertikale Achse versetzt wurde. Hierbei entstanden in den Drahtspulen eine Reihe von Induktionsströmen, welche zu zwei Messingklemmen und von da beliebig weiter geleitet wurden. Selbstverständlich hatten diese Ströme abwechselnd die eine oder die andere Richtung, doch liessen sich, wo dieser Umstand für einen bestimmten Zweck sich als störend erweisen sollte, mit Hülfe eines selbstthätigen Kommutators die Ströme immer im selben Sinne durch die Leitung schicken.

So war also im Prinzip die Maschine geschaffen, welche ohne Verbrauch von Material, also kostenlos, eine beliebige Menge von Elektrizität lieferte und es handelte sich nur noch darum, durch möglichst günstige Form und möglichst zweckmässiges Arrangement der in Betracht kommenden Stücke die Maschine den industriellen Zwecken anzupassen.

*) Schellen a. a. O. S. 299.

Die nächstliegende, von Saxton und Clarke eingeführte Verbesserung war die, statt des schweren, aus mehreren Lamellen bestehenden Hufeisenmagnets die viel leichtern Drahtrollen sich drehen zu lassen; fernere Verbesserungen wurden teils in der Vermehrung oder Verstärkung der Magnete, teils in der möglichsten Ausnutzung der magnetischen Kraft durch veränderte Form und Aufstellung der Drahtspulen gefunden.

Stöhrer in Leipzig war der erste, der eine grössere Zahl von Stahlmagneten anwendete. Er stellte sie im Kreise so auf, dass ihre Pole sämmtlich nach oben gerichtet waren; über den Polen rotierten soviele Drahtrollen mit Eisenkernen, als Pole vorhanden waren; auch diese waren in einem Horizontalkreise angebracht. Man erhielt also bei der Annäherung der Rollen an die Magnetpole in allen Drahtwindungen einen Strom nach derselben Richtung, und bei der Entfernung derselben in allen Windungen einen Strom von entgegengesetzter Richtung. Bei n Magnetpolen ergab sich also für jede Umdrehung ein 2nfache Stromerzeugung; n Ströme gehen in dem einen Sinne, n in dem andern Sinne durch die Rollen und können nach Bedürfnis mit Hülfe des an der Drehungsachse angebrachten Kommutators gleichgerichtet durch die Aussenleitung hindurchgeführt werden. Dass bei grossen Maschinen die Drehung nicht mehr von Hand aus, sondern mittelst Dampfkraft zu erfolgen hat, ist selbstverständlich.

Das Stöhrer'sche Prinzip erreichte die Grenze seiner Durchführung in den Grossmaschinen von Holmes in England und in denen der Gesellschaft l'Alliance in Frankreich. Bei der Alliance-Maschine, deren ursprüngliche Konstruktion Herrn Nollet, Professor der Physik an der Kriegsschule zu Brüssel, zum Urheber hat, sind riesige Stahlmagnete, etwa acht an der Zahl, in Vertikalkreisen so angeordnet, dass sie ihre Pole sämtlich dem Mittelpunkte des Kreises zukehren; es sind ferner drei oder fünf solcher Magnetkreise in gewissen Zwischenräumen hintereinander gesetzt, so dass bei der grössten Maschine ein Hohlcylinder von 5 × 8 Hufeisenmagneten entsteht, in dessen Hohlraum 4 × 16 Drahtspulen rotieren. Bei einer Rotationsgeschwindigkeit von 400 Touren in der Minute erhält man wenigstens 100 Stromwechsel in der Sekunde; der Wechsel erfolgt also so rasch, dass nicht nur das durch den Strom erzeugte elektrische Licht in der Zwischenzeit nicht erlöscht, sondern dass auch das Auge nicht imstande ist, das Zu- und Abnehmen der Lichtstärke wahrzunehmen.

Die Alliance-Maschinen sind auf den Leuchttürmen von Cap la Hève (nahe bei dem Hafen von Havre), von Cap Griz Nez bei Calais, von Kronstadt, Odessa u. m. a. in Gebrauch; das Licht wird in einer Entfernung von 27 Seemeilen oder von 50 Kilometern noch deutlich gesehen. Auch auf Seeschiffen, bei nächtlichen Arbeiten umfangreicher Art, z. B. bei den Brückenbauten zu Paris und Kehl, bei dem Bau des neuen Louvre u. s. w. fanden die Maschinen zahlreiche Anwendung. Selbst bei der Belagerung von Paris im Kriege von 1870—71 spielten dieselben Maschinen eine nicht unbedeutende Rolle; sowohl auf dem Mont Valérien als auch auf der Butte Montmartre und anderwärts waren grosse magnet-elektrische Maschinen der beschriebenen Art aufgestellt, um mittelst des von ihnen erzeugten elektrischen Lichtes die nächtlichen Belagerungsarbeiten des Feindes zu beleuchten.*)

*) Schellen a. a. O. Seite 40. Es sei hier übrigens bemerkt, dass die sämmtlichen elektrischen Maschinen bei einer geringen Änderung der Konstruktionsverhältnisse auch für galvanoplastische Arbeiten gebraucht werden können.

Siemens' Induktor. Währenddem die elektrischen Maschinen sich nach der von Stöhrer betretenen Richtung hin ausbildeten, war es inzwischen (i. J. 1857) dem berühmten deutschen Techniker W. Siemens in Berlin gelungen, der Induktorrolle eine wesentlich zweckmässigere Form zu geben, durch die es nicht nur möglich war, die induzierende Kraft der Magnete möglichst auszunutzen und die Dauer der Stromunterbrechungen noch erheblich zu verkürzen, sondern die es auch gestattete, die Magnete ohne ein grossartiges Trag- und Stützwerk aufzustellen und dadurch die kolossalen Dimensionen der bisherigen Grossmaschinen zu vermeiden, sowie den gewaltigen Kostenpunkt zu vermindern.

Man denke sich einen Eisencylinder von beliebiger Ausdehnung an zwei entgegengesetzen Seiten der Länge nach mit einer ziemlich tiefen Rinne versehen und diese Rinne durch Drahtwindungen ausgefüllt, die ebenfalls der Länge nach um den Cylinder herum geführt sind und deren Enden isolirt mit der Achse in Kontakt stehen, so hat man eine Vorstellung des Siemens'schen Induktors. Die Hufeisenmagnete stehen nun in beliebiger Zahl parallel neben einander und ihre Polenden haben sämtlich an den einander zugekehrten Innenseiten segmentartige Ausschnitte, so dass zwischen den Polen ein Cylinderraum entsteht, den der Induktor ausfüllt.

Der Siemens'sche Induktor bildete die Grundlage einer Maschine von ausserordentlicher Leistungsfähigkeit, mit welcher der Engländer Wilde im Jahre 1866 an die Öffentlichkeit trat. Die Maschine besteht aus zwei über einander stehenden Teilen, von denen der kleinere, obenauf stehende Teil eine gewöhnliche Siemens'sche Maschine von etwa 16 Stahlmagneten bildet. Auch der untere Teil ist eine Siemens'sche Maschine, aber viel grösser und dahin abgeändert, dass an Stelle der Stahlmagnete ein einziger Elektromagnet getreten ist, dessen Schenkel aus grossen Eisenplatten bestehen. Der durch den ersten Induktor gewonnene Strom wird nun nicht durch die äussere Leitung geschickt, sondern dient dazu, den Elektromagneten zu magnetisieren; hierdurch wurde es möglich, dem letztern eine Tragkraft von 5000 kg zu geben, während die 16 Stahlmagnete zusammen nur eine solche von 160 kg besassen. Wilde ging sogar noch weiter, indem er den durch den Elektromagneten gewonnenen Strom dazu benutzte, um einen noch grössern und stärkern Elektromagneten zu gewinnen, der seinerseits dann erst den für die Aussenleitung zu benutzenden Strom erzeugte. Es wird berichtet, dass das mit einer solchen Maschine hervorgebrachte Licht die Augen der Zuschauer ebenso blendete, wie der Glanz der Mittagssonne und dass alle Ecken und Winkel eines grossen Saales mit einem Glanze erfüllt wurde, der den Sonnenschein übertraf und gegen den die hellbrennenden Gasflammen braun erschienen.*)

Wenn bei solchen Leistungen das Problem der elektrischen Lichtmaschinen im wesentlichen als gelöst erscheinen durfte, so hafteten der Wilde'schen Maschine nichts destoweniger noch bedeutende Mängel an, die zu beseitigen, Aufgabe der Technik bleiben musste. Insbesondere war es ein grosser Übelstand, dass in Folge der ungemein schnellen Drehung der Induktoren und des dadurch bedingten raschen Polwechsels die Maschine sich ausserordentlich stark erhitzte und die Intensität des Stromes in Folge dessen sehr rasch abnahm. So kam es, dass der Höhepunkt dieser Konstruktion zugleich auch das Ende derselben bezeichnete, um so mehr,

*) Schellen a. a. O. S. 50.

als zu Ende des Jahres 1866 W. Siemens mit einer neuen Entdeckung hervorgetreten war, die sich sehr bald Eingang verschaffte und seitdem die Konstruktion der elektrischen Maschine vollständig beherrscht.

Das dynamische Prinzip. Auch im weichsten Eisen bleibt, wenn es einmal magnetisch gewesen ist, eine geringe Spur magnetischer Kraft zurück, die imstande ist, schwache Induktionsströme hervorzurufen. Man denke sich nun, wie bei der Wilde'schen Maschine, einen aus zwei Eisenplatten gebildeten Elektromagneten, zwischen dessen Polen ein Siemens'scher Induktor rotiert; die Enden des Induktors seien aber über einen Kommutator hinweg mit den Drahtenden des Elektromagneten verbunden. Wenn dann irgend einmal ein kurzer Strom aus einer galvanischen Batterie durch die Windungen des Elektromagneten gegangen ist, so wird bei der spätern Rotation des Induktors ein Strom entstehen, der, da er den Elektromagneten umkreist, den remanenten Magnetismus desselben stärkt und dadurch wieder Veranlassung zu kräftigern Induktionsströmen gibt. Dies geht so lange fort, bis der Elektromagnet diejenige Stärke angenommen hat, die er überhaupt anzunehmen imstande ist. Damit sind nach dem Ausdrucke des Herrn Siemens der Technik gegenwärtig die Mittel gegeben, elektrische Ströme von unbegrenzter Stärke auf billige und bequeme Weise überall da zu erzeugen, wo Arbeitskraft disponibel ist.*)

Es ist nicht uninterressant, darauf hinzuweisen, wie das Problem, den elektrischen Strom in mechanische Arbeit umzusetzen, mit der Lösung des Problems der elektrischen Beleuchtung sich zunächst ins grade Gegenteil verwandelte. Denn wie schon die frühern magnet-elektrischen Maschinen zur Erzeugung des elektrischen Stromes einer mechanischen Thätigkeit bedürfen, durch welche die Drahtrollen in Rotation versetzt werden, so ist bei den neuen Maschinen, denen Siemens passender Weise den Namen dynamo-elektrische Maschinen beilegt, gradezu eine Umwandlung von mechanischer Arbeit in elektrischen Strom zu beobachten. Die induzierende Kraft ist nämlich bei den dynamo-elektrischen Maschinen nicht wie bei den magnet-elektrischen etwas unveränderlich gegebenes, sondern muss erst, von der geringen Spur remanenter magnetischer Kraft abgesehen, durch die Arbeit des Motors erzeugt werden, und entsteht in dem Masse, als mechanische Arbeit darauf verwendet wird und in ihrer ursprünglichen Gestalt verschwindet.

Es ist bekannt, dass Elektromagnete gar nicht besonders gross zu sein brauchen, um eine gewaltige Stärke anzunehmen. Unter Anwendung des dynamischen Prinzips waren also mit einem Schlage die Kolossal-Maschinen, deren man bisher zur Erzeugung kräftiger Wirkungen bedurfte, aus dem Wege geräumt und damit, von andern Übelständen abgesehen, der Preis der Maschinen sehr erheblich reduziert. Es ist daher fast selbstverständlich, dass man heutzutage, ausgenommen bei den kleinen, zum Handbetriebe eingerichteten Maschinen, das dynamische Prinzip allgemein in Anwendung findet.**)

*) Poggendorff's Annalen 1867 S. 335. Fast gleichzeitig mit Siemens wurde das dynamische Prinzip von Wheatstone in London entdeckt; doch gebührt unserm deutschen Techniker der Vorrang der Priorität.

**) Neuerdings ist von Méritens noch eine magneto-elektrische Maschine konstruiert worden; doch wird dieselbe schwerlich den dynamo-elektrischen Maschinen gegenüber konkurrenzfähig sein. Siemens wendet bei seinen allerneuesten Konstruktionen zur Erzeugung möglichst gleichförmiger Kraft eine dynamo-

Eine wesentliche Umgestaltung sollte aber inzwischen die Form des Induktors noch erfahren.

Der Gramme'sche Ring. Schon im Jahre 1860 hatte ein Italiener, Dr. Antonio Pacinotti in Florenz, ein Maschinenmodell gebaut, in welchem durch die eigentümliche Konstruktion des Induktors die Wechselströme vermieden waren, und also ohne Kommutator Ströme von derselben Richtung entstanden. Merkwürdiger Weise blieb Pacinotti's Erfindung unbeachtet, bis ein Belgier, Zénobe Théophile Gramme, Modellschreiner in der Compagnie l'Alliance zu Paris, i. J. 1871 dieselbe Erfindung zum zweiten Male machte. Auch die Schuckert'sche Maschine hat mit einer geringen Modifikation die Gramme'sche Erfindung adoptiert und es ist daher angezeigt, dieselbe eingehender zu besprechen.

Man denke sich in der Ebene eines Hufeisenmagnets einen Eisenring so angebracht, dass die Verbindungslinie der beiden Magnetpole durch den Mittelpunkt des Ringes geht. (Fig. VII.) Unter dem Einflusse des Magneten wird dann auch der Eisenring magnetisch und bekommt an dem dem Südpole des Hufeisenmagneten zunächst liegenden Teile seinen Nordpol *N'* am entgegengesetzten Teile seinen Südpol *S'*. Kann der Ring um eine senkrecht zu seiner Ebene durch den Mittelpunkt gehenden Achse gedreht werden, so würde dies zur Folge haben, dass nach und nach alle Partien des Ringes einmal Nord- und Südpol würden, während nach aussen hin eine Veränderung durchaus nicht wahrnehmbar wäre.

Nach der Ampére'sche Hypothese wird der Magnetismus durch galvanische Ströme hervorgerufen, die so gerichtet sind, dass, wenn man sich eine menschliche Figur mit dem Gesichte nach dem Magneten hingewendet in den Strom eingeschaltet denkt, der Nordpol sich zur Linken der Figur befindet. Konstruiert man hiernach die Stromrichtung in dem magnetisch induzierten Ringe, so ergibt sich, dass die Ströme auf der Vorderseite unserer Figur die durch die Pfeile angedeutete Richtung innehalten. Wenn es dabei auffallend erscheinen sollte, dass die Stromrichtung auf der rechten Seite der Figur der auf der linken grade entgegengesetzt ist, so denke man sich den Ring längs *S' N'* durchschnitten; es entstehen dann zwei halbkreisförmige Magnete, die mit ihren Südpolen bezw. Nordpolen zusammenstossen.

An irgend einer Stelle sei nun um den Ring ein in sich geschlossener Draht gewunden, welcher die Rotation des Ringes mitmacht (*D* in Fig. VII); es ist dann klar, dass nach den Faraday'schen Gesetzen sowohl der ursprüngliche Magnet, wie der Eisenring induzierende Wirkungen auf die Drahtwindungen hervorrufen müssen. Der Einfachheit halber möge vorab der Einfluss des Hufeisenmagnets ausser Betracht bleiben, zumal derselbe gegenüber der influenzierenden Kraft des Ringes nur von untergeordneter Bedeutung ist.

Trotz der Rotation des Ringes bleibt, wie schon angedeutet, die Stromverteilung in demselben ganz dieselbe und es ist daher für die induzierende Wirkung ganz einerlei, ob Ring und Drahtwindung gemeinschaftlich sich drehen, oder ob die Drahtwindungen allein über den festen Ring rotierend sich fortbewegen. Die letztere Anschauungsweise zu Grunde legend, betrachten wir jetzt, welcher Art die Ströme sind, die in dem Drahtgewinde sich entwickeln.

elektrische Maschine an, deren Ströme nur dazu dienen, die Elektromagneten einer zweiten Maschine zu umkreisen. Die zweite Maschine, die dann als magneto-elektrische wirkt, liefert die Ströme zur Erzeugung des elektrischen Lichtes. Eine solche Maschine, wie sie gegenwärtig wohl unbestritten den Höhepunkt aller Lichtmaschinen bildet, war bei der letzten Gewerbeausstellung hierselbst in Thätigkeit.

Nach dem Vorgange Schellens denken wir uns den Umfang des Ringes in beliebig viele, z. B. acht gleiche Teile geteilt, denken uns ferner das Drahtgewinde der Reihe nach an den acht verschiedenen Teilungsstellen und nehmen an, dass es von da aus um eine sehr kleine Strecke sich fortbewege. Die induzierende Wirkung der beiderseits zunächst liegenden Oktanten bezeichnen wir mit e, und zwar mit $+ e$ oder $- e$, je nachdem der induzierte Strom in der einen oder andern Richtung verläuft; ebenso werde die Wirkung der beiden entfernteren Oktanten mit $+ e'$ bzw. $- e'$, bezeichnet. In derselben Weise könnten wir mit den übrigen Oktanten verfahren; doch ist wegen der grösseren Entfernung deren Einfluss so gering, dass derselbe füglich vernachlässigt werden kann. Wollte man übrigens auch diese Teile noch in Rechnung ziehen, so würde das Hauptresultat nicht im mindesten verändert werden.

Das Drahtgewinde befinde sich zunächst bei O und bewege sich in der Richtung nach S' hin. Die beiden unterhalb gelegenen Oktanten erzeugen dann Entfernungsströme, also von gleicher Richtung mit den Pfeilen, ihre Wirkung ist also $+ e + e'$; die beiden oberhalb liegenden Oktanten dagegen erzeugen entgegengesetzt gerichtete Näherungsströme, deren Intensität durch $- e - e'$ bezeichnet werden muss. Im ganzen also gibt es einen Strom von der Stärke $+ e + e' - e - e'$, d. h. die Drahtspule ist im Punkte O stromlos.

Bilden wir analog die Stärke der in den Punkten A, S', B, O', C, N' und D hervorgerufenen Induktionsströme, so ergibt sich für A: $+ e + e' - e + e' = 2 e'$ für S': $+ e + e' + e + e' = 2 (e + e')$; für B: $- e + e' + e + e' = 2 e'$; für O': $- e - e' + e + e' = o$; für C: $- e - e' + e - e' = - 2 e'$; für N': $- e - e' - e - e' = - 2 e'$; für D: $+ e - e' - e - e' = - 2 e'$.

Es ergibt sich hieraus, dass die in O stromlose Drahtwindung bei ihrer Drehung einen Induktionsstrom empfängt, der zunächst wächst, bis er unterhalb des Nordpols des Hufeisenmagnets sein Maximum erreicht, um dann genau in gleichem Masse wieder abzunehmen und in O' zu verschwinden. Mit dem Überschreiten des Punktes O' bildet sich ein Strom in umgekehrter Richtung, der bis zum Südpol des Hufeisenmagnets wächst, von da an in derselben Weise wieder abnimmt und in O verschwindet. Die innerhalb des Halbkreises $O\ S'\ O'$ erzeugten Ströme sind ihrer Stärke nach gleich denen an den analogen Stellen des Halbkreises $O'\ N'\ O$ erzeugten.

Nachdem wir auf diese Weise über das Verhalten einer einzelnen Drahtwindung ins klare gekommen sind, ist es nicht schwer, anzugeben, was geschehen muss, wenn der ganze Ring gleichmässig von Drahtwindungen umgeben ist. Es ist ja einleuchtend, dass dann in allen Windungen oberhalb $O\ O'$ sich Ströme bilden, welche in demselben Sinne den Eisenring umkreisen, und auf der Vorderfläche unserer Zeichnung vom Mittelpunkt nach der Peripherie hin gerichtet sind; in den unterhalb der Linie $O\ O'$ befindlichen Drahtwindungen dagegen entwickeln sich Ströme, die unter sich ebenfalls gleichgerichtet den vorigen Strömen grade entgegengesetzt sind und auf der Vorderfläche unserer Zeichnung die Richtung von der Peripherie nach dem Mittelpunkte hin innehalten.*) Denken wir uns die Drahtwindungen so nahe bei-

*) Die Linie OO' hat in Wirklichkeit eine etwas andere Lage, und zwar so, dass bei der von uns angenommenen Drehungsrichtung der Punkt O etwas höher, der Punkt O' etwas tiefer liegt. Der Grund dafür ist der, dass infolge des magnetischen Beharrungsvermögens auch die Pole S' und N' etwas im Sinne der Drehungsrichtung verschoben werden.

einander, dass bei der Drehung des Ringes eine neue Windung stets ohne Unterbrechung an die Stelle der vorhergehenden tritt, so entsteht aus den Induktionswirkungen auf die einzelnen Windungen sowohl oberhalb als unterhalb *O O'* je ein Summenstrom von gleicher und gleichbleibender Stärke und von entgegengesetzter Richtung. Die Drahtwindungen erscheinen also nach aussen vollständig stromlos, trotzdem fortwährend neue Ströme in denselben erzeugt werden. Anders dagegen gestaltet sich die Sache, wenn wir bei *O'* einen Leitungsdraht befestigen und ihn in beliebiger Weise nach *O* herumführen. Die von oben und unten her nach *O'* hineilenden Ströme treten dann gleichgerichtet in die bei *O'* eingeschaltete Leitung ein, kehren nach *O* zurück und spalten sich dort wieder nach beiden Seiten hin. Es entspricht diese Erscheinung ganz genau dem Verhalten zweier nebeneinander (auf Quantität) verbundener galvanischer Elemente oder Batterien. Denken wir uns bei zwei Elementen Kupfer mit Kupfer und Zink mit Zink verbunden, so fliesst in dem ersten Verbindungsdrahte die positive Elektrizität von beiden Kupferlamellen einander entgegen und ebenso in dem andern Drahte die negative Elektrizität beider Zinkplatten, und das Ganze ist stromlos. Verbindet man aber beliebige Punkte beider Verbindungsdrähte durch einen dritten Draht, so entsteht ein Strom, der vom Kupfer zum Zink hinübergeht.

Bei der Besprechung des Ringes und seiner induzierenden Wirkungen haben wir immer nur den positiven Strom im Auge behalten, der negative verhält sich natürlich entsprechend, und wir können also den Punkt *O'* mit dem Kupferpol, den Punkt *O* mit dem Zinkpol eines Volta'schen Elementes vergleichen.

Wie oben bereits angedeutet, haben wir nun noch derjenigen Induktionswirkungen Erwähnung zu thun, welche von Seiten des Hufeisenmagnets auf die Drahtwindungen ausgeübt werden. Zwar gibt es noch eine ganze Menge induzierter Ströme, welche durch die Wechselwirkung der Magnete und der Einzelwindungen hervorgebracht werden; doch dürfen wir dieselben hier vernachlässigen, da sie die Gesamtstärke des Stroms nicht in merkbarer Weise beeinflussen.

Bei der Feststellung der induzierenden Wirkung des Hufeisenmagnets geben seitens der Drahtwindungen diejenigen Teile den Ausschlag, welche unmittelbar an dem Nord- bezw. Südpol vorbeigleiten, und seitens der im Magneten vorausgesetzten Ströme diejenigen Teile derselben, welche den vorigen am meisten genähert sind. Legen wir also unsre Figur VII zu Grunde, so handelt es sich etwa um die am äussern Umfang des Ringes liegende Drahtstücke von *A* über *S'* bis *B*, so wie von *C* über *N'* bis *D;* ferner um die Unterseite des obern Schenkels, sowie um die Oberseite des untern Schenkels des Hufeisenmagneten. Bewegt sich demnach etwa der Punkt *A*, bis er in die Lage von *S'* rückt, so rufen die links von ihm zu denkenden Stromteile des Magneten gleichgerichtete Entfernungsströme, die rechts zu denkenden Teile entgegengesetzt gerichtete Näherungsströme hervor; beide heben sich teilweise auf; doch werden, wenn nicht von vornherein, so doch sicher von einer gewissen Stelle an die erstern die Oberhand gewinnen. Bewegt sich nun derselbe Punkt noch über *S'* hinaus etwa bis *B*, so sind nur Entfernungsströme vorhanden. Das Schlussresultat ist also ein Strom, der gleiche Richtung mit dem Hauptstrome hat und ihn verstärkt. Das Analoge tritt unten beim Südpole ein.

Man pflegt die beiden Magnetpole mit Schuhen zu versehen, welche sich kreissegmentartig um den Ring herumlegen. Die induzierende Wirkung sowohl des Ringes selbst, wie auch des Hufeisenmagnets wird dadurch bedeutend gestärkt.

Die bisherige Darstellung enthält die theoretische Konstruktion des Gramme'schen Ringes; die praktische Ausführung desselben gestaltete Gramme in folgender Weise. Statt eines massiven Eisenringes bildete er einen solchen aus gut ausgeglühten Eisendrähten in der Absicht, um durch das geringere magnetische Beharrungsvermögen derselben den fortwährenden Polwechsel zu erleichtern.*) Um die Kraft des Magnetes möglichst auszunutzen, ist der Querschnitt des Ringes breiter als hoch. Das Innere des Ringes ist mit Holz ausgefüllt, durch welches die Rotationsachse geht. Die Drahtumwindung ist nicht in einem Zuge durchgeführt, sondern besteht je nach der Grösse der Maschine aus 30 bis über 100 einzelnen Spulen, jede Spule zu 300 und mehr auf und nebeneinander liegende Windungen. Die Enden jeder Spule sind mit den Enden jeder vorhergehenden und nachfolgenden Spule verlötet, so dass die sämtlichen Spulen zusammen doch nur eine ununterbrochene Umwickelung darstellen. Alle Lotstellen liegen auf derselben Seite des Ringes (in Figur VIII auf der linken); von jeder derselben geht ein Draht radial nach der Achse, biegt dann rechtwinklig um, um parallel der Achse bis ungefähr ans Ende derselben zu gehen. So entsteht ein über die Achse geschobener und mit der Achse sich umdrehender hohler Cylinder von Kupferdrähten, Leitdrähte oder Strahlstücke genannt. Diese letztern haben den Zweck, den Strom abzuleiten, und zwar geschieht dies dadurch, dass an zwei gegenüberliegenden Seiten der Achse in einer zur Verbindungslinie der Magnetpole senkrechten Ebene je ein aus lockern Kupferdrähten zusammengesetztes Bündel (Bürste oder Besen) angebracht ist, welches auf der Achse schleift und dadurch stets mit einem Strahlstück in Kontakt sich befindet. Die Stellen, wo die Bürsten schleifen, sind diejenigen, welche in der Figur VII den Punkten O und O' entsprechen. Sind also die Bürstenhalter durch Klemmschrauben mit einem äussern Leitungsdraht verbunden, so erhält man wegen der grossen Zahl der Strahlstücke und weil die Bürsten immer schon ein neues Strahlstück berühren, ehe das vorhergehende ausser Kontakt tritt, in höchst einfacher Weise einen kontinuierlichen Strom. Die Rotation wird entweder durch ein Getriebe mit der Hand, oder mittelst Riemenscheibe (R in Figur VIII) von Seiten eines Motors ausgeführt.

Es ist einleuchtend, dass die Gramme'sche Konstruktion in Verbindung mit dem Siemens'schen dynamischen Prinzip von durchschlagendem Erfolge sein musste, und in der That leisten die Maschinen, welche Gramme's und Siemens' Prinzip in sich vereinigen, das Höchste, was man von einer elektrischen Maschine erwarten kann. Nur Übelstände geringerer Art waren noch zu beseitigen; doch ist auch dies bereits mit Erfolg in Angriff genommen worden. Namentlich zwei Punkte waren es, auf welche sich die Aufmerksamkeit der Techniker zu konzentrieren hatte.

Siemens-Halske's Trommel und Schuckert's Flachring. Der erste Übelstand war der, dass immer nur der unmittelbar an den Polschuhen vorbeigleitende Teil der Drahtmündungen Induktionsströme empfängt, während die Seitenteile und die nach Innen liegenden Stücke so gut wie gänzlich unausgenutzt bleiben. Diesem Umstande suchen Schuckert und Siemens abzuhelfen; der erstere, indem er seinem Ringe eine flache Form gibt (Flachring-Konstruktion) und die Armaturen der Elektromagnete auch seitlich den Ring umfassen lässt; der letztere, indem er unter Anlehnung an seinen frühern Induktor (Seite 21) statt

*) Die magnetische Trägheit eines temporären Magnets ist proportional der Masse des Eisens.

des Ringes einen Cylinder einführt. Dieser Cylinder, dessen Konstruktion schon im Jahre 1872 von Herrn Fried. von Hefner-Alteneck, dem Vorsteher des Konstruktionsbureaus der Telegraphenbauanstalt von Siemens & Halske in Berlin angegeben worden ist, stellt eine hohle „Trommel“ von Eisen dar, die um ihre Längsachse drehbar ist. Diese Trommel ist der Länge nach (nicht quer) ringsum mit Draht umzogen, der wie beim Gramme'sche Ring aus mehreren an einander gelöteten Partien besteht und daher eine Anzahl von Leitdrähten nach der Achse hin abgibt. Die Trommel rotiert bei kleinern Maschinen zwischen einer grossen Zahl parallel neben einander aufgestellter Stahlmagnete, bei grössern Maschinen zwischen plattenförmigen Elektromagneten. Das Arrangement ist also, von der Trommel abgesehen, ganz das der auf Seite 21 erwähnten Maschine, die Wirkungsweise der Trommel ist im Prinzip dieselbe wie die des Gramme'schen Ringes, quantitativ dagegen ungleich bedeutender.

Der zweite Übelstand der Gramme'schen Maschine liegt in der schädlichen Erwärmung der Drahtspulen, durch welche nicht nur ein unnützer Mehraufwand an mechanischer Arbeit erforderlich wird, sondern auch die Maschine durch Verkohlung und Durchbrennen der isolierenden Drahtumhüllungen Schaden nehmen kann. Diese Wärme rührt teils daher, dass der elektrische Strom bei seinem Durchgange durch metallische oder andere Leiter einen gewissen Widerstand findet, der ein Umsetzen von elektrischem Strom in Wärme zur Folge hat. Das elektrische Licht selbst beruht ja hierauf. Passende Wahl der Drahtsorte kann hier im wesentlichen Abhülfe schaffen.. — Eine nicht unbedeutende Erwärmung entsteht zweitens dadurch, dass der eiserne Kern sich mit grosser Schnelligkeit durch ein stark magnetisches Feld hindurch bewegen muss. Bekannt ist diese Art von Erwärmung durch den Foucault'schen Apparat, mit Hülfe dessen man sogar leichtflüssiges Metall schmelzen kann. Namentlich die sehr grossen Maschinen leiden unter dem erwähnten Übelstande. Siemens & Halske begegnen ihm in ihren Grossmaschinen dadurch, dass sie den Trommelmantel aus Neusilberblech herstellen und mit Hülfe einer komplizierten Konstruktion den in demselben befindlichen Eisenkern an der Rotation nicht teilnehmen lassen. — Ein dritter Erwärmungsgrund liegt in der fortwährenden Verschiebung der Pole und in dem bei jeder Umdrehung zweimal erfolgenden Polwechsel. Wegen des magnetischen Beharrungsvermögens kann Verschiebung und Wechsel der Pole nicht gleichen Schritt mit der Rotationsgeschwindigkeit halten. Die Moleküle des Eisenringes bleiben aber in stets wechselnder Bewegung, die sich nur teilweise als Magnetismus äussern kann, zum andern Teil die Form der Wärme annehmen muss. Unsre Licht-Maschine macht in jeder Minute etwa 1100 Umdrehungen; dies erheischt für jede Sekunde nicht weniger als einen 36maligen Polwechsel. Man kann daraus eine Vorstellung gewinnen, wie beträchtlich die Wärmequelle ist, selbst wenn bei jedem Polwechsel nur ein Minimum von Wärme erzeugt wird. Es ist eben bemerkt worden, dass schon Gramme aus diesem Grunde den Eisenkern nicht massiv herstellte, sondern aus Eisendrähten zusammensetzte. Ebenso stellen Siemens & Halske bei den kleinern Maschinen den Kern ihrer Trommel aus Drähten her, während bei den Grossmaschinen der vorhin erwähnte, an der Rotation nicht teilnehmende Eisenkern Abhülfe schafft.

Um die Masse des Eisenkerns, von der ja die magnetische Trägheit abhängig ist, noch mehr, als es durch Drähte geschehen kann, zu vermindern, setzt Schuckert den Eisenkern aus radial gestellten Blechscheiben oder Blechringen zusammen, die durch unmagnetisches

4*

Material (Holz u. dergl.) isoliert zusammengehalten werden. Schuckert reduziert damit die Erwärmung der Spulen nicht nur auf ein sehr geringes Mass, sondern gewinnt ausserdem eine bedeutende Kraftersparnis, so dass kräftige Lichtmaschinen schon mit verhältnismässig geringem Kraftaufwande in Betrieb gesetzt werden können.*)

Die Schuckert'sche Maschine. Die Konstruktion der Schuckert'schen Maschine ist aus der bisherigen Darstellung im wesentlichen bereits ersichtlich und es erübrigt nur noch, die praktische Ausführung derselben mit wenigen Worten anzugeben. Zwei kräftige Eisenstützen (*T* in Figur VII) bilden die Träger der Maschinenteile und sind gleichzeitig die Verbindungsstücke der beiden Elektromagneten *E*, welche mit ihren gleichnamigen Polen einander grade gegenüberstehen. Zwischen den gleichnamigen Magnetpolen befindet sich je eine Armatur *A*, welche nahezu die Hälfte eines Kreisringes bildet, und den dazwischen rotierenden Flachring von drei Seiten umfasst. Ein ringsumgelegtes Schutzblech *S* hat die Aufgabe, von dem Ringe etwaige Beschädigungen auch an den Stellen fern zu halten, wo er von dem Anker nicht gedeckt ist. Bei *L* kommen die Leitdrähte zum Vorscheine, welche bei *C* sich mit den Isoliergeschichten zu einem festen Cylinder vereinigen. Diesseits und jenseits bei *B* liegen die Bürsten oder Schleiffedern an. Oben bei *K* sind auf einem Mahagonibrettchen die beiden Klemmschrauben zum Einsetzen der Leitungsdrähte angebracht; rechts ist die positive, links die negative Polschraube. Beginnen wir bei der negativen Polschraube, so geht der Strom um die obere Hälfte des linken Elektromagneten, von da zu der hintern Bürste, weiter zur Achse und durch die Windungen des Ringes, dann zur Achse zurück und auf die vordere Bürste, von hier zur untern Hälfte des linken, dann zur untern Hälfte des rechten, endlich zur obern Hälfte des rechten Magnets, von da auf die positive Klemmschraube, durch die Leitung und zur negativen Polschraube zurück. *R* ist die Riemenscheibe zur Anlage des Treibriemens.**)

Schuckert baut seine Maschine sowohl für die Zwecke, wo es auf hohe Spannung der Elektrizität ankommt (elektrisches Licht), wie auch für solche, wo eine bedeutende Quantität bei geringerer Spannung verlangt werden muss (galvanische Metallüberzüge und Galvanoplastik). Ausserdem hat er namentlich auch mit Rücksicht auf den Schulgebrauch Maschinen konstruiert, welche zwei Ringe auf derselben Achse besitzen. Die Ringe können vermittelst eines an der Maschine befindlichen Umschalters entweder auf Spannung (hintereinander), oder auf Quantität, (nebeneinander) verbunden werden. Unter andern besitzt das Gymnasium zu Kaschau sowie das Instituto industriale e professionale zu Turin eine solche Maschine, deren Leistungsfähigkeit nach den Gutachten der betreffenden Professoren Fabry und Truchi eine im höchsten Grade zufriedenstellende ist. Wir selbst haben uns für eine nur auf Spannung gebaute Maschine entschieden, weil es bei uns vor allem darauf ankam, eine durchaus zuverlässige Lichtquelle für die optischen Versuche zu gewinnen. Es ist die in dem Preisverzeichnisse von Schuckert mit No. 3 bezeichnete Lichtmaschine. Sie hat eine Gesamtbreite von 0,53 m, eine Höhe von 0,43 m, eine Tiefe von 0,35 m und ein Gewicht (ohne Fundamentbock) von 120 kg. Nach gefälliger Mitteilung des Herrn Schuckert sind auf die Magnete, deren Eisen 30 kg wiegt, 500 m $2^3/_4$ mm starker Kupferdraht gewunden, während der Kern des Ringes in 36 Abteilungen von 1600 Windungen eines 300 m langen und $1^1/_2$ mm dicken Kupferdrahtes umgeben ist.

*) Dieser Umstand war mit bestimmend bei der Wahl des für unsre Schule zu benutzenden Systems.

**) *O* sind Ölfläschchen zum Einölen der Achsenlager.

Wenn man die Leitungsdrähte soweit von einander entfernt hält, dass der Strom nicht mehr imstande ist, hindurchzugehen, so heben sich, wie bei der Erklärung des Gramme'schen Ringes auseinander gesetzt worden ist, die in dem Ringe erzeugten Ströme in jedem Momente auf; es ist grade so, als wenn gar keine Induktionswirkungen erfolgten und der Motor hat nur die in ihm selbst und den Achsenlagern der Lichtmaschine vorhandenen Reibungswiderstände zu überwinden; der wirkliche Kraftverbrauch ist also äusserst gering. Nimmt man den äussern Widerstand so gross, dass ein Strom noch eben durchgeht, so ist die Stromstärke sehr gering, der Magnetismus der Elektromagnete bleibt fortwährend schwach und der Kraftverbrauch des Motors ist wiederum unbedeutend. Mit abnehmendem äussern Widerstande wächst jedoch die Stromstärke sehr rasch und damit auch die Stärke der Elektromagnete, sowie die Kraft, welche nötig ist, um den Ring durch das magnetische Feld hindurch zu treiben. Ist der äussere Widerstand verschwindend klein (z. B. beim Zusammenlaufen der Kohlen in der elektrischen Lampe), so wird die ganze elektromotorische Kraft auf Erregung von Magnetismus in den Elektromagneten verwendet; dieselben erreichen dabei eine solche Stärke, dass der Motor unter Umständen nicht mehr imstande ist, die Drahtspulen durchzutreiben, und in Stillstand versetzt wird. Versuche, die mit unserer Lichtmaschine angestellt wurden, haben folgende Resultate geliefert:

Tourenzahl pro Minute.	Widerstand der Maschine nach längerm Laufen in Siemens' Einheiten.*)	Äusserer Widerstand in Siemens' Einheiten.	Stromstärke in Weber.*)	Elektromotorische Kraft in Volts.*)	Wirklicher Kraftverbrauch nach Pferden.
1160	3,1	5,5	9,60	82,6	1,9
1160	3,1	3,0	14,26	87,0	2,5
1160	3,1	1,5	19,30**)	88,8	3,8

Berechnet man die in den drei Versuchen beobachteten Stromstärken auf je eine Pferdekraft, so erhält man im ersten Falle eine Stromstärke von 5,05, im zweiten eine von 5,70 und im dritten eine von 5,08. Das günstigste Verhältnis zwischen Arbeitsverbrauch und Stromstärke ist also beim zweiten Falle, bei welchem innerer und äusserer Widerstand nahezu gleich sind.

Die aus der Maschine zu gewinnende Lichtstärke lässt sich nicht wohl genau angeben, da wie eben gezeigt, die Maschine nur bei Einschaltung eines gewissen Widerstandes das Maximum ihrer Leistungsfähigkeit ergibt und ausserdem die Tourenzahl auf die Stromstärke von Einfluss ist. Annähernd mag das Licht bei einem Verbrauch von 1,5 Pferdekraft und einer Tourenzahl von 1100 pro Minute dem von 100 Bunsenschen Elementen mittlerer Grösse entsprechen und gleich 700 Normalkerzen sein. Jedenfalls aber möge hier die Bemerkung nicht unterdrückt werden, dass die Maschine vorzüglich arbeitet und für die Zwecke des optischen Unterrichts in vollstem Masse ausreicht.

*) Die Siemens'sche Einheit ist der Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt.

Weber's Einheit ist ein Strom, welcher in 1 Minute 1,044 ccm Knallgas liefert.

1 Volt ist ungefähr gleich 1 Daniell.

**) Diese Zahl ist allerdings nicht ganz zuverlässig, weil die Ablenkung der benutzten Bussole bei diesem Versuche über die Genauigkeitsgrenze des Instruments hinausging.

Zukunft der elektrischen Maschinen. Wir dürfen die vorliegende Abhandlung nicht beendigen, ohne wenigstens mit ein paar Worten auf die Zukunft der elektrischen Maschinen einzugehen. Wenn bereits früher mit den Rotationsapparaten von Page und andern die Möglichkeit, den elektrischen Strom in mechanische Arbeit umzusetzen, dem Prinzipe nach dargethan war, und die praktische Verwertung, wie oben gezeigt, nur am Kostenpunkt scheiterte, so ist einleuchtend, dass gegenwärtig, wo in den magneto-elektrischen und dynamo-elektrischen Maschinen eine wohlfeile Elektrizitätsquelle geschaffen ist, auch die technische Benutzung der vielbesprochenen Kraftumwandlung nicht mehr zu den Unmöglichkeiten gerechnet werden darf: und in der That braucht man nur die Leitungsdrähte einer von einem Motor in Betrieb gesetzten elektrischen Maschine mit den Polschrauben einer gleichen oder ähnlichen Maschine zu verbinden, um in der letztern eine Rotation hervorzurufen, die ohne weiteres zu beliebiger mechanischer Arbeit verwendet werden kann. Zwar liesse sich einwenden, dass für den Betrieb der ersten, die Elektrizität liefernden Maschine ein Motor etwa in Form einer Dampf- Gas- oder Heissluftmaschine nötig ist, dass also in letzter Instanz doch wieder die Steinkohlen das krafterzeugende Moment hergeben müssen. Demgegenüber sei zweierlei erwiedert. Wenn auch wirklich die ursprüngliche Krafterregung von den Steinkohlen hergenommen werden müsste, so kann es unter Umständen doch recht vorteilhaft sein, die aus Kohlen gewonnene mechanische Kraft zunächst in Elektrizität zu verwandeln, um sie an einer andern Stelle wieder als mechanische Kraft zu Tage treten zu lassen; es wird dies immer dort der Fall sein, wo wegen der Grösse der Entfernungen oder wegen der Unzugänglichkeit der Arbeitsstätten (z. B. in Schächten und Tunnels) Riemen oder Leitröhren nicht wohl angebracht werden können. Ein Beispiel für viele!

Die Zuckerfabrik von Chrétien & Felix zu Sermaize (Departement der Marne) besass für die abendliche Beleuchtung der Arbeitsräume eine Gramme'sche Lichtmaschine, die von der Dampfmaschine der Fabrik in Bewegung gesetzt wurde. Um die über Tag disponibele Dampfmenge auszunutzen, stellte man eine zweite Gramme'sche Maschine im Hafen von Sermaize aus, wohin der Fabrik der grösste Teil der von ihr zu verarbeitenden Zuckerrüben auf dem Marne-Rhein-Kanal zugeführt werden. Beide Maschinen wurden durch Kupferdrähte mit einander verbunden; der von der ersten Maschine ausgehende elektrische Strom versetzte dann die im Hafen aufgestellte in Rotation und veranlasste sie, eine der Baggermaschine ähnliche Vorrichtung zu treiben, durch welche die Rüben aus den Schiffen geholt und in Karren umgeschüttet wurden. Während der Arbeitsperiode 1878—79 hat man auf diese Weise 400 Tonnen Rüben ausgeladen und beabsichtigte im folgenden Jahre mit kräftigern Maschinen 2000 Tonnen zu heben.*)

Es ist indessen keineswegs nötig, dass die ursprüngliche treibende Kraft einer Dampfmaschine oder dergl. entnommen werden muss. Es gibt vielmehr auf der Erde eine solche Summe sich stets erneuernder mechanischer Kräfte, dass gegen sie der gesamte Kohlenreichtum der Erde eine verschwindende Grösse ist. Bei dem Bau des Gotthard-Tunnels z. B. hat man in geistreicher Weise die starken Gefälle der unmittelbar an den Arbeitsstätten vorbeistürzenden Flüsse Reuss und Tessin dazu verwertet, um Lokomotiven zu treiben. Da man nämlich, so lange der Durchstich nicht erfolgt war, des Rauches halber gewöhnliche Lokomotiven im Innern

*) Carl, Zeitschrift für angewandte Elektrizitätslehre I, S. 287.

des Berges nicht benutzen konnte, so hat man solche konstruiert, deren Dampfkessel durch einen mit komprimierter Luft erfüllten Eisencylinder ersetzt war, und deren Tender statt der Kohlen einen zweiten Luftcylinder führten. Die Kompression der Luft aber wurde durch Turbinen bewerkstelligt, die ihrerseits von den genannten Wasserkräften getrieben wurden. Zeitungsnachrichten zufolge will man sich auch ferner der Turbinen zu elektrischer Beleuchtung des Tunnels bedienen. Bedenken wir also, welch' verschwenderische Fülle von Kraft die Natur in dem majestätischen Dahingleiten der Ströme, in dem jähen Sturz der Gebirgsgewässer, in dem regelmässigen Sinken und Heben des Meeres zur Ebbe- und Flutzeit uns entgegenbringt, bedenken wir ferner, wie unter Anwendung von elektrischen Maschinen und mit Hülfe von Kupferdrähten die mechanischen Kräfte nach beliebigen Orten hin übertragen werden können, dann ahnt man erst, welche Zukunft den elektrischen Maschinen bevorstehen dürfte.

Bei Gelegenheit der Kunst- und Gewerbeausstellung des vorigen Jahres war hierselbst eine elektrische Eisenbahn von Siemens & Halske angelegt worden, die in mehreren Windungen einen Teil des Ausstellungsgartens durchzog. Sie bestand aus zwei elektrischen Maschinen, von denen die eine in einem Maschinenhause fest aufgestellt war, während die andere auf den Schienen rotierte und drei für je 8 Personen eingerichtete Personenwagen zog.*) Wagen und elektrische Lokomotive waren allerdings nur in mässigen Dimensionen gebaut, und es mochte manchem Besucher scheinen, als ob das seltsame Ausstellungsobjekt mehr der Belustigung, als ernsten gewerblichen Zwecken dienen sollte. Der Fachmann jedoch begrüsste in der Anlage eine Erfindung der Neuzeit, die bereits angefangen hat, in die Gewerbe- und Verkehrsverhältnisse fördernd einzugreifen, deren Tragweite für die Umgestaltung mancher Art menschlichen Wirkens und Schaffens sich zwar mehr ahnen, als vorhersagen lässt, die aber jedenfalls dazu berufen scheint, in einer Weise zu wirken, dass wir nur Grosses davon erwarten dürfen.

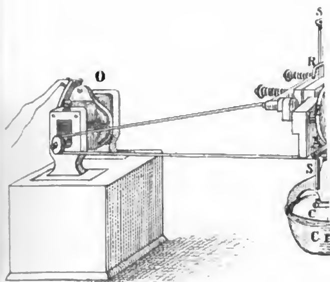
*) Die Verbindung beider elektrischer Apparate war durch die Laufschienen einerseits und durch eine zwischendurch gehende auf Holzstücken isolierte Schiene anderseits hergestellt. Dieselbe Anlage war auf der Berliner Gewerbeausstellung vom Jahre 1879 zu sehen.

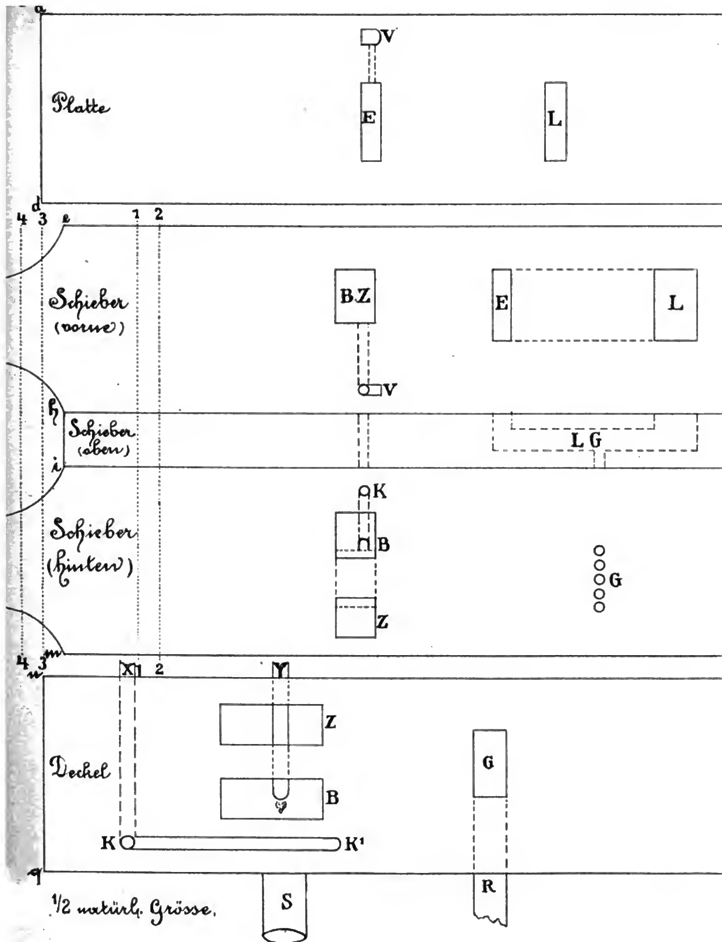
Erklärung der Figur I.

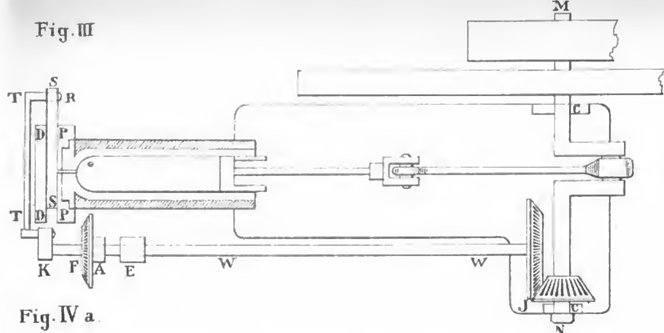
Sr Schwungrad.
Rs Riemenscheibe.
F Einsaugetopf.
D Luftrohr, zum Schieber führend.
X Gasleitung zur kontinuierlich brennneden Flamme.
Y Gasleitung zur Entzündungsflamme.
R Gasleitung für das Explosionsgemenge.
G Absperrhahn der letztern.
E Einströmungsventil.
So Schornstein.
Q Steuerwelle.
N Einströmungsnocken.
U Hebel für das Ausströmungsventil.
Fe Feder, zur Rückbewegung des vorigen.
Z Zahnrad, zur Bewegung des Centrifugal-Regulators.
Cr Topf, in welchem die Kugeln des Centrifugal-Regulators rotieren.
CTB Winkelhebel, der vom Centrifugal-Regulator bewegt wird.
AS Vorrichtung zum Stellen des Einströmungsnockens beim Ingangsetzen der Maschine
W Zuleitung des Kühlwassers zum Cylindermantel.
V Abzugsrohr für die Verbrennungsprodukte.
M Abflussrohr des Kühlwassers.
I Ausblasetopf.
P Ölbehälter mit 2 Abflüssen, von der Steuerwelle in Thätigkeit gesetzt, zum Ölen von Kolben und Schieber.
O Lichtmaschine.

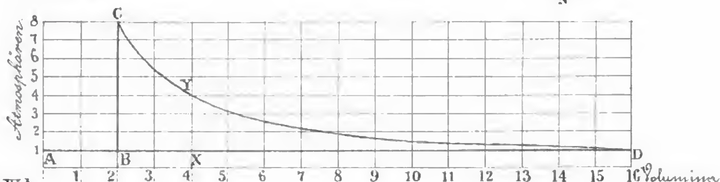
F

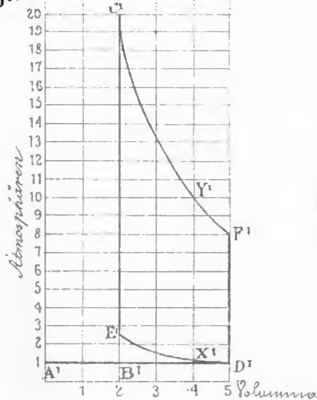
Fig I.

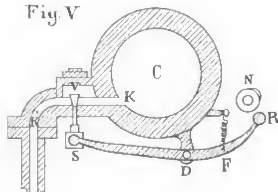


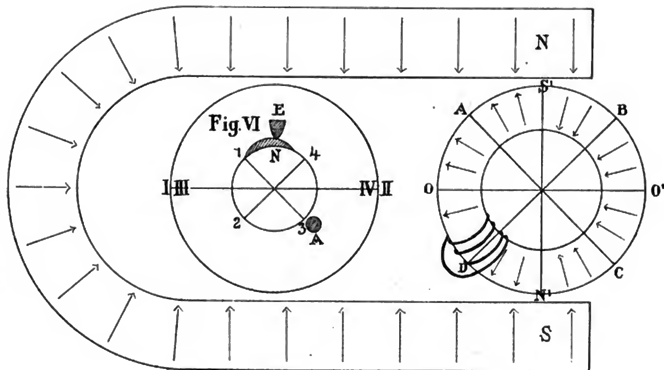

a
V
Platte
E
L
d
4
3
e
1
2
Schieber
(vorne)
BZ
E
L
V
h
Schieber
(oben)
L G
i
K
Schieber
(hinten)
B
G
Z
m
4
3
n
X
1
2
Y
Z
Deckel
G
B
K
K¹
q
R
S
½ natürl. Grösse.

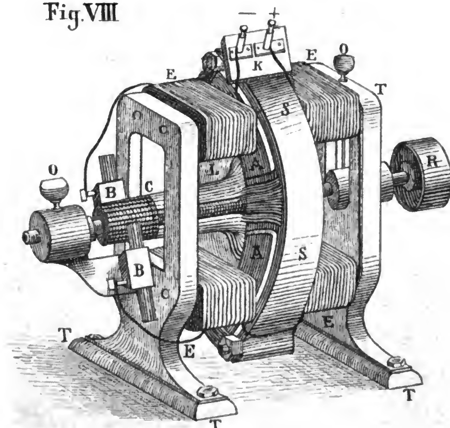

Fig. III
M
S
T
R
C
D
P
S
T
D
P
K
F
A
E
W
W
J
C
N


Fig. IV a.
C
Atmosphären
8
7
6
5
4
3
2
1
Y
A
B
X
D
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16 Volumina


Fig. IV b.
C¹
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
Atmosphären
Y¹
F¹
E
X¹
A¹
B¹
D¹
1
2
3
4
5 Volumina


Fig. V
C
N
V
K
R
S
D
F


N
S
Fig. VI
E
1
N
4
I III
IV II
2
3
A
S'
A
B
O
O'
D
C
N'


Fig. VIII
— +
K
E
E
O
T
S
L
A
R
O
B
C
A
S
B
C
T
E
E
T
T


UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 01842 1282

